

نوروزی شریعتی

علم نظریه افسان

ماهیچه آرام



فهرست مطالب

صفحه

پنج	مقدمه مترجم
۱	دییاجه راذرفورد
	مقدمه در زندگینامه شرو دینگر
۴	نوشته جیمز مرفی
۲۷	I . علم ، هنر ، و بازی
۴۴	II . قانون تصادف
۶۰	III . نامعینگری در فیزیک
۹۶	IV . آیا علم مد زمانه است
۱۲۷	V . علم فیزیک و مزاج زمانه
۱۶۱	VI . قانون طبیعت چیست ؟
	VII . مودلهای تصوری در فیزیک
۱۷۹	و ارزش فلسفی آنها
۲۰۲	VIII . اندیشه اساسی مکانیک موجی
۲۲۴	IX . ذره عنصری چیست ؟
۲۷۴	فهرست کلمات

بحث ریاضی در باره نظریهٔ شرودینگر و تغییراتی که
 در اتوم تصویری بوجود داده و، بر مبنای اندیشهٔ شجاعانهٔ دو پروی،
 « موج ماده » را جانشین « ماده » به معنای سابق آن کرده
 است، نه حد مترجم است و نه جایش در چنین کتابی است.
 آنچه، از جنبهٔ ریاضی محض گذشته، از اندیشه‌های این
 مرد بزرگ به دست می‌آید، با خواندن کتاب، دستگیر هر
 کسی که در این قبیل موضوعات سابقهٔ اطلاعاتی دارد و جویای
 آن است که معلومات تازه تری پیدا کند، خواهد شد. اینکه
 مثلاً مکانیک همیلتونی چیست یا اصل نامعینی کدام است یا

اصل فرما درباره چه سخن می گوید ، و نظایر اینها ، مطالبی است که فهم آنها تفحص لازم دارد و البته هر کس خواستار معرفت بیشتر است خود راه این تفحص را می داند.

در کتاب ماکس پلانک - علم به کجا می رود - که پیش از این توسط مترجم ترجمه شده و ناشر کتاب حاضر آن را نشر کرده است ، بسیار مطالب هست که چون با آنچه در این کتاب آمده ضمیمه یکدیگر شود ، بر علم و دانش کسانی که هر دو کتاب را بخوانند بسیار می افزاید ، و چشم خوانندگان را به دانستیهای تازه ، لااقل از لحاظ تفکر و تأمل ، بازتر می کند.

بعضی لغات نامأنوس را که در این کتاب در مقابل معادلهای فرنگی آنها قرار داده ام ، به عمد معنی نکرده ام و در حاشیه چیزی درباره آنها نوشته ام . تصور من این بوده است که غالب کسانی که این کتاب را می خوانند ، به يك زبان خارجی آن اندازه آشنایی دارند که بتوانند با مراجعه به يك کتاب لغت انگلیسی تعریفی را که در مقابل کلمهای که آمده بفهمند . تقریباً برای تمام این گونه لغات فهرستی در آخر کتاب آورده ام و در مقابل اصطلاح فارسی معادل انگلیسی

آن را قرار داده ام . يك لغت ظاهراً ناهنجار تراز همه ، یعنی انسانشکلیگری را مثل می زنم . در مقابل آن در فهرست کلمات آخر کتاب Anthropomorphism را آورده ام . این کلمه انگلیسی از سه جزء از ریشه یونانی ساخته شده است : آنتروپوس = انسان ، مورفه = شکل ، و ایسموس که پسوند مخصوص ساختن اسم است . در مسائل الهی اسلامی همین کلمه در مورد معرفت خدا با لفظ « تشبیه » بیان می شود ، و مشبیه کسانی را می گویند که برای خدا صفات بشری قائلند . و در حقیقت در عمق وجود هر کس چنین اندیشه ای هست و همه گله های احمقانه که از ذات باری تعالی می شود که چرا چنین کرده و چنان نکرده بر پایه همین تشبیه و انسانشکلیگری است . ممکن بود در ذیل صفحه ای که « انسانشکلیگری » در آن آمده چند سطر حاشیه بنویسم و اظهار فضلی هم بکنم ، ولی من چنین دوست ندارم و این قبیل حاشیه نویسیهای لغوی را تعدی به حق خواننده جوینده می دانم ؛ این را اذعان دارم که شاید در حق دسته ای از خوانندگان دیگر که هر کتابی را - فقط برای اینکه تفسنی کتابی خوانده باشند -

می خوانند ، ظلم کرده باشم ، ولی من ظلم به این دسته را
شایسته تر از عصب حق آن دسته اول می دانم .



امیدوارم خواننده این کتاب بتواند ، با ترجمه ای که
من از اثر گرانمای شرو دینگر کردم ، عصاره گفته های این
دانشمند را فهم کند و درباره علّیت و قانون طبیعت و برابر
بودن دو نظریه موجی و ذره ای نور با یکدیگر و موجی بودن
ماده و بسیار حقایق علمی دیگر مطالب تازه ای دستگیرش
شود ، و از آن کسان نباشد که دریافته های خود را از آثار
دیگران سوء تعبیر می کنند یا به سود خود در آنها انحرافی
پدید می آورند و نتایج عجیب و غریب از آنها استخراج می کنند
و در نوشته های خود به دروغ به نویسنده و دانشمندی نسبت
می دهند .



برای آنکه به نیاز دسته ای از خوانندگان که دوست
دارند چیزهایی درباره زندگی نویسنده کتاب حاضر بدانند ،
جواب گفته باشم ، مختصری از شرح حال او را ذیلاً می آورم .

اروین شرو دینگر ، فرزند یکانه یک خانواده قدیمی
دانشدوست اطریشی ، به تاریخ ۱۲ اوت ۱۸۸۷ در وین چشم
به جهان گشود . تا یازده سالگی در خانه درس خواند . سپس
به مدرسه متوسطه رفت و در ۱۹۰۶ وارد دانشگاه وین شد .
در ۱۹۱۰ درجه دکتری گرفت و مدتی به عنوان دستیار
فراشتراکسر استاد فیزیک کار می کرد . در ۱۹۱۴ عنوان
دانشیاری پیدا کرد . جنگ اول جهانی دلیله تحقیقات او
را قطع کرد و در آن جنگ با درجه افسری توپخانه در جبهه
جنوب خدمت می کرد .

دانشیار جوان در ۱۹۲۰ موفق به دریافت نخستین
جایزه خود - جایزه هابینگر - از آکادمی تحقیقات اطریش
شد . در همین سال به معاونت ماکس وین انتخاب شد و به
دانشگاه وینا رفت . در نیمسال پس از آن عنوان استاد غیر
رسمی دانشگاه شتوتگارت پیدا کرد ، و نیمسال بعد
از آن استاد رسمی دانشگاه برسلو شد . در ۱۹۲۱ وی
را به استادی کرسی فیزیک نظری دانشگاه زوریخ برگزیدند
و مدت شش سال در این دانشگاه تدریس می کرد .

شهرت علمی وی سبب شد که در ۱۹۲۸، از میان داوطلبان فراوان جانشینی ماکس پلانک، وی را به دانشگاه برلن دعوت کنند که تا سال ۱۹۳۳ در این شهر اشتغال داشت. در ۱۹۳۳ وی و پاول دیرک توأمأ، به خاطر اکتشاف اشکال تازه و ترمیم بخشی از نظریهٔ اتمی، به دریافت جایزهٔ نوبل توفیق یافتند.

پس از استقرار نظام هیتلری در آلمان و تحت فشار قرار گرفتن دوستان و همکاران وی — پلانک، اینشتین، هرتز، هابر، ترست، و هاین — دیگر نتوانست در برلن بماند، و این شهر را در ۱۹۳۳ ترک گفت و به انگلستان سفر کرد.

در سالهای ۱۹۳۳ و ۱۹۳۵ عضو کالج ماکدالن آکسفورد بود. در ۱۹۳۶ به دعوت کشورش به انریش آمد و در دانشگاه گراتس مشغول شد. در نتیجهٔ فشارهای سیاسی، شورای استادان در ۱۹۳۷ او و دو همکار دیگرش — لوی و هس — را که از برندگان جایزهٔ نوبل بودند از دانشگاه اخراج کرد، و سال ۱۹۳۸، با داشتن ۵۱ سال عمر و بدون دریافت حقوق

بازنشستگی یا کمک دیگر، بر او و نیز بر دو همکارش بسیار سخت گذشت. در ۱۹۳۸ به عنوان استاد مهمان در دانشگاه گنت، بلژیک، مشغول تدریس شد. در ۱۹۳۹ کشور ایرلند از او دعوت کرد و دو والرا، رئیس جمهور ایرلند، که به فیزیک نظری علاقه مند بود، برای او استثنوی همایند آنچه آمریکاییان در پیرشتن برای اینشتین تأسیس کرده بودند در دبلین بنیان نهاد که دانشمندان دیگر در این استیو زیر نظر شروع ینگر به کار تحقیق می برداختند. تا سال ۱۹۵۵ در دبلین بود. در این سال بار دیگر او را به میبش دعوت کردند و پیرمرد ۶۸ ساله به زادگاه خود وین بازگشت. در ۱۹۵۶ جایزهٔ «شرویدینگر» را که بزرگترین جایزهٔ تحقیقاتی و به نام خود او تأسیس شده بود، به وی تقدیم کردند. عضویت و دکتری افتخاری چندین مؤسسهٔ علمی و دانشگاه جهان نیز نصیب او شده بود. در تاریخ ۳ ژانویهٔ ۱۹۶۱ چشم از این جهان فرو بست.

تزدیک صد اثر در فیزیک و علوم طبیعی و مسائل فلسفی از وی برجای مانده که از آن جمله است کتاب «داده می چیست» (۱۹۲۳) و «علم و انسانیت» (۱۹۵۵) که به زبانهای

مختلف ترجمه شده است .

عکسی از وی از مؤسسه انتشارات آثار شروینگر
در وین گرفته شد تا تصویر این دانشمند نیز در مقدمه کتاب
به نظر خوانندگان برسد .

تهران - اسفندماه ۱۳۴۸
احمد آرام

دیباچه

از اینکه چند کلمه‌ای به عنوان دیباچه بر کتاب
تألیف استاد اروین شروینگر و ترجمه جیمز مرفی
می‌نویسم ، شادمانم . این کار بیشتر از این جهت برای من
لذتبخش است که مؤلف اکنون در سرزمین ما زندگی
می‌کند و در زندگی علمی ما شرکت دارد .

همان گونه که به خوبی معلوم است ، استاد
شروینگر سهم مهمی در تکمیل نظریه های نازمای دارد
که در تفسیر و تعبیر نموده های اتمی سودمندی آنها به
ثبوت رسیده است . به همین جهت است که آگاه شدن از
نظری وی در باره تأثیر این نظریه ها در تصویرهایی که همراه
با تعبیرهای ما از جهان مادی است ، جالب توجه خاص
است . این مسئله در کتاب حاضر ، ضمن چند مقاله ، از
لحاظهای مختلف مطالعه شده ، که در آنها از قوانین تصادف

واحد نامعینگیری و معنی قانون طبیعت سخن رفته است .
آخرین فصل کتاب که متن سخنانی است که وی سال
گذشته در ستوکهولم ، هنگام دریافت جایزه نوبل گفته
است ، اهمیت بیشتر دارد ، چه به صورتی بسیار جالب
رابطه میان اندیشه‌های کهنه و نو را آشکار می‌سازد ، و
از سازش ممکن میان سیمای مختلف طبیعت ، بنا بر آنکه
ماده به صورت ذره یا به صورت موج در نظر گرفته شود ،
سخن می‌گوید . در باره مسائل اساسی که پای معنی و دانسته
قانون علیت در آنها به میان می‌آید ، جای اختلاف عقیده
فراوان است ، ولی بسیار کسان در این سرزمین ، خواه با
نظریات مؤلف موافق باشند خواه نباشند ، این مقالات
جذاب و ساده نوشته شده را بالذات و علاقه فراوان خواهند
خواند .

راذر فورد

کیمبرلیج ، ۱۹ فوریه ، ۱۹۳۵

مقدمه‌ای مشتمل بر زندگینامه شرودینگر

نوشتا : جیمز هرفی

یادداشت‌های لازم برای تهیه این مقدمه را در يك
بعد از ظهر تابستان ، ضمن گردش در حیاط کلیسای کلونین
که از کودکی با آن انس داشته‌ام ، فراهم آوردم . چنانکه
برهمگان معلوم است ، در همین جا بود که اسقف بزرك ،
برکلی ، به انجام مأموریت دینی خود اشتغال داشت . در
تزدیکی همین کلیسا ، آنجا که اکنون محل سکونت رئیس
کلیسا است ، وی مدت بیست سال زندگی کرده است .
وظایف کلیسایی سبکی داشت ، چه در این قسمت از ایرلند
شماره پیروان مذهب پروتستان چندان زیاد نبود . بنابراین
اسقف‌نشین کلونین منبع معیشت شایسته‌ای برای يك فیلسوف

به شمار می‌رفت و سرزمینهای اطراف مطابق دلخواه او بود .
 به فاصله کمی از کلیسا دژ قدیمی نورماندی هنوز با
 برجها است ، که اکنون بیچکهای فراوان آن را در میان
 گرفته ، و در خلال شاخه‌های آنها هزاران پرند برای خود
 لانه ساخته‌اند . محتملاً در باره وضع اصلی همین دژ است
 که بر کلی در کتاب معاورات خود چیزهایی گفته است .
 چون این مطلب با آنچه پس از این خواهم گفت ارتباطی
 دارد ، بهتر است که عین آن فقره از کتاب بر کلی را در
 اینجا نقل کنم :

اوفرانور: آلسیرون ، به من بگو که آیا می‌توانی
 درها و پنجره‌ها و کنکرها را آن دژ را تشخیص دهی ؟
 آلسیرون : نمی‌دانم . در این فاصله تنها به برج
 مدور کوچکی می‌ماند .

اوفرانور: ولی من ، که دران بودم ، می‌دانم که
 برج مدور کوچکی نیست ، بلکه بنای مربع بزرگی است
 با کنکرها و برجهای کوچکی که ظاهراً تو نمی‌توانی
 آنها را ببینی .

آلسیرون : آیا از این بحث چه نتیجه‌ای می‌خواهی

بگیری ؟

اوفرانور: مقصودم بیان این مطلب است که آنچه با
 چشم می‌بینی درست همان چیزی نیست که در چند میل
 فاصله قرار گرفته است .

کمی بعد بیان خود را به صورتی قاطعتر چنین
 می‌آورد : « بنابراین آیا واضح نیست که دژ یا سیاره یا
 ابری که می‌بینی ، همان چیزها نیستند که تصور می‌کنی
 در فاصله دور قرار گرفته‌اند ؟ »

با همین چند جمله که نقل شد ، نظر بر کلی در باره
 مسئله معرفتشناختی که این روزها هم مایه پیرشانی فکر
 دانشمندان است به خوبی معلوم می‌شود . و ازان جهت
 توجه خواننده را در اینجا به جانب بر کلی جلب کردم که
 روش و گرایش فیزیک نظری امروز ، در جستجویی که
 برای دست یافتن به تکیه گاهی معرفتشناختی می‌کند ، تا
 حدی از نوع رفتن به زیارت کلیسای کلون است . و به
 همین جهت است که فیزیکدانان انگلیسی - جیتز ،

ادینکون، و وابند، مثلاً - که نگران یافتن تأییدی فلسفی برای وضع خود نسبت به آخرین نظریه‌های فیزیک اتمی هستند، بسیار به برکلی مراجعه کرده و شواهدی از گفته‌های وی آورده‌اند. من یقین دارم که اگر شرودینگر، همان اندازه که با دانشمند ایرلندی، سر ویلیام همیلتون، آشنایی دارد و در اثر ریاضی خود از کارهای او الهام گرفته است، با فیلسوف ایرلندی نیز آشنایی می‌داشت، به نام و گفته‌های او نیز در این کتاب استناد می‌کرد. محتاج بیشتر آنچه را شرودینگر در فصلهای آینده، درباره‌ی دشواریهای مسئله معرفتشناختی در مکانیک کوانتومی به صورت کلی و در مکانیک موجی به صورت خاص نوشته، می‌توان در آثار برکلی یافت. چون این کتاب برای خواننده غیر متخصص نوشته شده، و چون مرد غیر متخصص عادی بیشتر از جنبه فلسفی مسئله به فیزیک نظری جدید می‌نگرد، بهتر آن دانستم که از همین آغاز کار توجه خواننده را به این منبع صفا و وضوح فلسفی جلب کنم.

اکنون به شرودینگر و اثر او متوجه می‌شویم. آیا وی در تاریخ علم فیزیک چه مقامی دارد و اهمیت نسبی

مقام او تا چه پایه است؟ به عبارت دیگر، وی چه کرده، و کاری که وی انجام داده به چه تکاملهای بعدی، خواه به دست خود وی خواه به دست همکارانش، ممکن است بینجامد؟

اروین شرودینگر از مردم آتریش است، چهل و هفت سال پیش [۱۸۸۷] در شهر وین به دنیا آمد. در دانشگاه وین فیزیک ریاضی تحصیل کرد و در شعبه‌ی اوزان دانشگاه درس می‌خواند که استیتوی فیزیک نام داشت. لودویگ بولتزمن روح الهامبخش این استیتو و پایه‌گذار سنت خاص آن بود. درست در همان زمان که شرودینگر به عنوان دانشجو به آن گام نهاد، بولتزمن رخت به سرای دیگر کشید. بدون شك در پیدایش بعضی از اندیشه‌های اساسی که فیزیک نظری جدید بر آنها بنا شده، بولتزمن سهمیم بوده است. وی نخستین کسی است که به قضیه حرارتی که اکنون به نام قانون دوم ترمودینامیک خوانده می‌شود، صورت آماری داد. وی با این عمل، برای نخستین بار یک قانون آماری را وارد علم طبیعی صحیح کرد و آن را جانشین قانون قطعی علت و معلول ساخت.

در ۱۹۲۱ شرودینگر به استادی فیزیک ریاضی دانشگاه زوریخ منصوب شد. در همین جا بود که نظریه مکانیک موجی خود را طرح ریخت و آنچه را که اکنون معادله موجی شرودینگر نامیده می شود انتشار داد.

به گفتهٔ ماکس پلانک « این معادله پایه‌ای برای مکانیک کوانتومی جدید فراهم آورده است، و در این مکانیک همان مقامی را دارد که معادلات مستقر شده به دست نیوتون و لاکرانز و همیلتون در مکانیک رسمی داشتند ». ماکس پلانک در ۱۹۲۶ از استادی فیزیک نظری در دانشگاه برلن استعفا کرد، ولی به عنوان دبیر کل دایمی فرهنگستان علوم پروس باقی ماند. شرودینگر را از زوریخ دعوت کردند تا در دانشگاه برلن جانشین ماکس پلانک شود.

در ضمن نطقی که هنگام پذیرفته شدن به عضویت فرهنگستان علوم پروس ایراد کرد (۴ ژوئیه، ۱۹۲۹) وی داستان خود را چنین آورده است: —

۱ - از کتاب «جهان در پرتو فیزیک جدید» صفحه ۲۹

The Universe in the Light of modern Physics

« در بیان تقدیر صادقاته از افتخاری که به من دادید و مرا امروز به عضویت فرهنگستان پذیرفته، باید بگویم که برای من هایهٔ کمال مسرت است که در مقام ریاست خودمان کسی را می‌یسم که هنوز با کمال قدرت به کار خویش مشغول است، استادی که همه به چشم احترام به او می‌نگریم، و من افتخار آن را دارم که در کرسی استادی جانشین او شدمام.

« به من اجازه بدهید که هر چه ممکن باشد با اختصار بیشتر وظیفهٔ نامطوبعی را که با نطق افتتاحیه پذیرفته شدن در فرهنگستان همراه است، یعنی سخن گفتن در بارهٔ خودم را به انجام برسانم.

«انستیتی کهن وین» که به تازگی با از دست دادن غم‌انگیز لودویگ بولتزمان سوگوار شده است، ساختمانی که دران فریتز هازنورل و فرانز اکسندر کار خود را دنبال می‌کردند و دران بسیاری از شاگردان دیگر بولتزمان را در حال آمد و شد می‌دیدم، چشم مرا به اندیشه‌هایی که توسط آن متفکر بزرگ سورتبندی شده بود باز کرد. خط فکری او را می‌توان نخستین عشق علمی من نامید. هیچ

چیز دیگری به این اندازه مرا به وجد و شوق نیاورده و هرگز نیز چنین نخواهد شد. بسیار آهسته به نظریهٔ اتمومی جدید نزدیک شدم. تناقضهای ملازم با آن، در مقایسه با تکامل پاك و سخت روشن استدلال بولتزمان، بسیار درشت و خام می نمود. حتی مدتی هم به صورتی از آن گریزان بودم، و با الهام گرفتن از فرانتز اکسروک. و. ف. کولریش به میدان نظریهٔ رتکها پناه بردم. در مورد نظریهٔ اتمومی، چیزهای فراوانی را آزمودم و ملرد کردم (بعضی از خودم، و بعضی از دیگران) تا اینکه لااقل روشنی فکر را، حتی اگر به خرج شدید ترین تغییر انقلابی هم بوده باشد، حفظ کنم. نخستین چیزی که تا حدی مایهٔ آرامش خاطر شد، اندیشهٔ امواج الکترونی دوبروی بود، که آن را کامل کردم و به صورت نظریهٔ مکانیک موجی درآوردم. ولی هنوز از اینکه بتوانیم راه جدید فهم طبیعت را، که از يك سویا مکانیک موجی و از سوی دیگر بامکانیک کوآتومی هاینبرگ آغاز شده است، چنانکه باید در پایان، بسیار دوریم.

پس ازان وی گفت که هدف علم فیزیک باید این باشد که قوانینی ساده و اساسی را با شمارهٔ هر چه کمتر کشف کند که هر نمودی را در مجموعهٔ پیچیدهٔ اختیاری بتوان به آنها ارجاع کرد. مکانیک رسمی دبال همین هدف بود و به نتایج درخشانی رسید. و همین امر به آن انجامید که روش مکانیکی را در همهٔ شاخه‌های فیزیک بگسترند و بکشند هر فرایند طبیعی را با ساختن نمونه‌ای ازان مورد توضیح قرار دهند. ولی امروز، با پیشرفت فیزیک کوآتومی، این طرز تفکر باید متروک شود. مسئلهٔ حاد در اینجا سودمندی اصل کلی علیت است.

وی گفت: «درست است که در عمل باید از استعمال علیت، حتی دران سیمای طبیعت که بر مکانیک رسمی بنا شده است، چشم ببوشیم. از لحاظ شخص خود من باید بگویم که این واقعیت در ذهن من با تأثیری عمیق همراه است که هنگامی که جوان بودم برای من پیش آمد، و آن در ضمن شنیدن نطق افتتاحیه‌ای بود که فریتز هازنودل ایراد کرد، و او کسی است که سروشت نا بینگام در جنگ او را از ما ربود و من طرز نگرش علمی خویش را

۱۲
 به صورت کلی به او مدیونم. وی در ضمن آن لطف گفت
 که: اگر این قطعه جنوب خود به خود و بدون هیچ علت
 نمایانی در هوا بالا رود، هیچ تناقضی با قانون طبیعت
 ندارد. بنا بر سیمای مکانیکی طبیعت، چنین معجزی،
 ازان جهت که عکس فرایند مقابل آن است، غیر ممکن
 نیست بلکه بسیار نا محتمل است. مفهوم احتمال که
 هازنورل در ذهن خود هنگام بیان این کلمه داشت، و بای
 آن در قوانین طبیعت به میان کشیده شد، در واقع با اصل
 موضوع علیت تناقض ندارد. عدم قطعیت در این مورد
 تنها ازانجا بر می خیزد که تعیین حالت ابتدایی جسمی
 که از بلیونها اتم ساخته شده، عملاً غیر ممکن است. ولی
 امروز، شک در باره اینکه فرایندهای طبیعت مطلقاً معین
 شده و محتوم هستند، کاملاً وضع دیگری دارد. دشواری
 تعیین حالت ابتدایی را چنان فرض می کنند که از لحاظ
 عملی نیست بلکه از لحاظ اصولی است. فرض این است
 که نه تنها در يك دستگاه پیچیده چنین است، بلکه حتی
 در اتم یا مولکول واحد هم چنین است. از انجا که هر
 چیز که با هیچ وسیله ممکن قابل مشاهده نیست، برای

فیزیکدان، به عنوان فیزیکدان، وجود ندارد. معنی
 روشن این است که، حتی دستگاه ساده هم چنان به وقت
 معین و محدود نشده است که مقابل اثر معینی یا رفتار
 معینی واکنش نشان دهد.

«فرانتز اکستر، که با تشویقهای فراوانی که از من
 کرده بسیار مدیون او هستم، نخستین کسی است که به
 امکان و مطابق مصلحت بودن تصویری غیر علّینی از طبیعت
 اشاره کرده است. وی در سخنرانیهایی که به سال ۱۹۱۹
 ایراد کرده، این مطلب را مورد بحث قرار داده است. از
 ۱۹۲۶ همین سؤال در نظریه کوانتومی به صورتی دیگر
 برخاسته است. حقیقت این است که این مسئله ظاهراً
 اهمیت اساسی دارد. گمان نمی کنم به این صورت هرگز
 بتوان جوایی برای آن پیدا کرد. به عقیده من، این
 مسئله مستلزم آن نیست که در باره اینکه ماهیت واقعی يك
 رویداد طبیعی چیست تصمیمی گرفته شود، بلکه بیشتر
 تصمیم گرفتن در باره این است که این تمایل ذهنی برای
 نزدیک شدن به طبیعت و تفسیر آن شایسته تر و سوهنتر است
 یا آن تمایل ذهنی. هاری یوانکاره این مطلب را توضیح

داده است که مادر این امر آزادی داریم که هندسه اوقلیدسی یا هر نوع هندسه دیگری را که خواسته باشیم در باره فضای حقیقی مورد استعمال قرار دهیم، بی آنکه ترس از تناقض با واقعیتها را داشته باشیم. ولی قوانین فیزیکی که در باره آنها بحث می‌کنیم تابعی از هندسه‌ای هستند که آن را به مورد عمل قرار داده‌ایم، و ممکن است که یک هندسه متضمن قوانین پیچیده‌ای باشد و هندسه دیگری متضمن قوانینی بسیار ساده تر. در این صورت، هندسه اولی نامرغوب است و هندسه دوم مرغوب، ولی کلمات «درست» و «نادرست» را نمی‌توان به کار برد. شاید همین بیان در مورد اصل موضوع جامد و متصلب علیت نیز صحت داشته باشد. تصور واقعیت‌هایی تجربی که بنابر آنها بتوان تصمیم گرفت که طبیعت مطلقاً معین و محتوم است یا به صورت جزئی نامعین است، ممکن نیست، منتها چیزی که بتوان در باره آن تصمیم گرفت این است که کدام یک از این دو طرز تصور ممکن است به برآورد ساده‌تر و روشن‌تر واقعیت‌های مشهود بینجامد. حتی تصمیم گرفتن در این باره هم شاید مدت‌های دراز وقت لازم داشته

باشد؛ چه مسئله هندسه جهانی نیز با همداری که یوانکاره به ما داده و ما را از آزادی انتخاب آگاه کرده است، بیشتر آمیخته به شک شده است.

تمایل فکری که در آخرین بند مطالب فوق دیده می‌شود، همان است که تقریباً الهامبخش هر یک از فصول کتاب حاضر بوده است. شاید اکنون بهترین فرصت باشد برای آنکه گفته شود که کتاب موجود، بدان صورت که دیده می‌شود، چگونه تألیف شده است.

در تابستان سال ۱۹۳۲، چند روز پیش از عزیمت من از برلن پس از یک اقامت چند ساله در این شهر، با شروینگر در یکی از قهوه خانه‌های او تردن لیندن برای صرف جای با یکدیگر قرار ملاقات گذاشتیم. درباره این مسئله که از مقالاتی که وی گاه به گاه نوشته و سخنرانی‌هایی که به مناسبت‌های خاص ایراد کرده است کتابی تهیه شود، با یکدیگر بحث کردیم. با توجه به عدم تجانس مواد مورد نظر، چنان احساس کردم که گردآوری آن مواد با هم و از مجموع آنها یک کل منظمی ساختن کار دشواری

است. به همین جهت قرار چنان گذاشتیم که این طرح مدتی مسکوت بماند. تا سال ۱۹۳۳، که شرویدینگر آلمان را ترک گفت و خدمت موقتی در دانشگاه آکسفورد به او وا گذاشته شد، قضیه انتشار کتاب به حالت تعلیق ماند. در این ضمن، به سال ۱۹۳۳، جایزه نوبل برای فیزیک به شرویدینگر اعطا شد، و گذشته ازان توانست مواد و مقالات اضافی دیگری در اختیار من بگذارد.

بعضی از مقالاتی که در این کتاب گنجانده شده، بیشتر فایده تاریخی دارد، ازان جهت که ارتباط شرویدینگر را با ترقیات تازه‌ای که در تکامل نظری علم فیزیک پیدا شده، نشان می‌دهد. به همین جهت آنها را کاملاً حرف به حرف ترجمه کرده و تاریخ و مناسبت نوشته شدن مقاله یا ایراد سخنرانی را نیز ذکر کرده‌ام. شاید در اینجا باید بگویم که در آن هنگام که این کتاب نوشته می‌شد، استاد شرویدینگر در انگلستان بود و به ترجمه‌های من و تطبیق آنها با اصل آلمانی آنها رسیدگی می‌کرد؛ و به همین جهت است که باید گفت که روش نویسندگی انگلیسی نتیجه همین همکاری دو نفری بوده است.

فصلی که زیر عنوان قانون طبیعت چیست آمده، شایسته اشاره خاص است. اصل آن سخنانی است که استاد شرویدینگر به عنوان افتتاح درس خود در کرسی فیزیک دانشگاه زوریخ ایراد کرده است. باید به اوضاع و احوال زمان توجه داشته باشیم تا به اهمیت بیان آن مطالب چنانکه شایسته است واقف شویم. آن سخنرانی در واقع عرضه کردن نظر فرااتراکسر بودمیتی بر این امر که باید به صورتی منظم از مفهوم مکانیکی علت و معلول دست برداشته شود. وقتی که این فکر نوخستین بار توسط اکسر مطرح شد، در هیئتهای علمی آلمان و فرانسه و سکاندیناویا و هلند، یا هیچ تأثیری نکرد یا بسیار کم مؤثر افتاد. معرفی شرویدینگر از این طرز فکر را می‌توان گفت که تا حدی آغاز دوره جدیدی در علم فیزیک بوده است.

در ۱۹۲۷ هاینبرگ اصل عدم حتمیت خود را اعلام کرد. سرآرثر ادینگتون در باره این حادثه چنین نوشته است: «باز هم هاینبرگ بود که پیشرفت جدید را در تابستان ۱۹۲۷ به راه انداخت. نتیجه آن اصلی

کلی و اساسی است که از لحاظ اهمیت همپایه اصل
نسبت است.^۱

تکامل مکانیک کوآتومی به دست هایزنبرگ در
سالهای پیش از ۱۹۲۷ و اوج این تکامل در این سال با
همان نظریه او، رفته رفته به تغییر اساسی در مودل
اتومی را زورفور-بور انجامید. خواننده باید به خاطر
داشته باشد که در این مودل اتم به صورت کوچک شده
منظومه شمسی تصویر می شده است با هسته‌ای ثابت و
الکترونهايي که در مدارات گوناگون برگرد آن حرکت
می کنند.

در فصلی که دران از ارزش مودلهای تصویری سخن
رفته است، شرودینگر در باره نظرهایی بحث می کند که
استاد دبرک آنها را پیشنهاد کرده است. موضوع قسمتی
از سخنرانی وی در برابر انجمن فیزیک فرانکفورت در
۱۹۲۹ همین مطلب بوده است. برای آنکه اهمیت این
فصل، چنانکه بایسد، مفهوم شود، لازم است آن را در

۱- کتاب طبیعت جهان فیزیکی، ص ۲۲۰

دیدگاه تاریخی آن قرار دهیم. شرودینگر از چیزی بحث
می کند که ظاهراً نتیجه منطقی بیان هایزنبرگ است،
گویا شک خود عملاً این نتیجه را قبول نداشته است. و به
همین جهت است که موضوع را تصمیم ناکرفته باقی
گذارده است. با وجود این کاملاً روشن است که وی
نمایل مشخصی به طرف آن خط فکری داشته، و نیز
روشن است که کار خود وی نیز آن بوده است که این
خط فکری را در جبهه مقدم علم جدید قرار دهد. فکر
کلی را می توان چنین بیان کرد:

اگر این درست باشد که، در فیزیک ذره بینی،
ممنوع ازان باشیم که، بنا بر طبیعت اشیاء، بتوانیم محل
قرار گرفتن و سرعت ذره‌ای را تماماً در يك لحظه تعیین
کنیم، البته نمی توانیم با قطعیت حالت بعدی آن ذره را
را پیشگویی کنیم. به عبارت دیگر، همان گونه که
نمی توانیم محل و سرعت الکترونی را در لحظه واحد
معین کنیم، غیر ممکن است که بتوانیم به صورت صحیح
راه آینده آن الکترون را حساب کنیم. هردخالتی از طرف
ما وضع خود آن الکترون را تغییر خواهد داد. بنابراین

و، در نظریه مکانیک موجی، آخرین منکهای ساختمان جهان را به چیزی شبیه یک تپش و ضربان روحانی تبدیل می‌کند که هر چه بیشتر به تصویری که ما از فکر محض و خالص داریم شباهت دارد.

سرچشمه چیز در نزدیکیهای اواخر کتاب خود،

جهان اسرار آمیز - The Mysterious Universe - چنین می‌گوید: «این گونه تصور از جهانی که آن را جهانی از فکر محض بدانیم، پرتو تازمائی بر بسیاری از وضعیتهای می‌افکند که در بازرسی فیزیک جدید با آنها رو به رو شدیم. اکنون می‌توانیم بینیم که چگونه اثر، که همه حوادث در آن صورت می‌گیرد، ممکن است به یک تجربه ریاضی منجر شود، و همان گونه منجر شود و در باطنی باشد که مدارات عرض جغرافیایی و نصف النهارات طول جغرافیایی چنانند. و نیز می‌توانیم بفهمیم که چرا با انرژی، یعنی اساسیترین ماهیت جهان، باید همچون یک تجربه ریاضی، یعنی ضرب انتگرالگیری یک معادله دیفرانسیلی معامله شود.

«همین تصور قطعاً منتهای این امر نیز هست که حقیقت

باید از کاربرد ارتباط علیتی در اینجا چشم‌پوشیم. اینکه ارتباط علیتی در حقیقت واقع صحت داشته باشد، مسئله‌ای است که برای دانشمند فیزیک معنایی ندارد، به این دلیل ساده که در فیزیک قابل استعمال نیست. حال اگر مجبور باشیم که از ساختمان علیتی دست برداریم، آشکارا ناچاریم که ساختمان مکانیکی را نیز ترك کنیم. باید به مفهوم و تصور آماری روی آوریم، و این بدان معنی است که باید مطلقاً و کاملاً به مفهوم ریاضی محض توجه کنیم. به عبارت دیگر، شرودینگر برای برانداختن آنچه می‌توان به آن نام مکانیک کلاسیک در علوم طبیعی داد اقامه برهان کرده است، همان گونه که نسلی از دانشمندان پیش از وی با کمال موفقیت نتوانستند اساس کلاسیک را در مطالعه طبیعت براندازند و از آن دست برداشتن. به دور انداختن همه نمونه‌ها و استعمال کلی و همه جانبه فرمولهای ریاضی به جای آنها، از آن جهت که این فرمولها برای نمایاندن آنچه حقیقت نهایی فیزیکی نام دارد شایسته تر است، بسیار به کار بارکلی نزدیک است.

نبایی در باره يك نمود در توصیف ریاضی آن جای دارد :
تازمانی که در این امر نقی وجود نداشته باشد، معرفت
ما نسبت به آن نمود کامل است. ما به ضرر خود به آن
طرف فورمول ریاضی گام می‌نهیم؛ ممکن است مودل یا
تصویری بیاییم که در فهم آن به ما کمک کند، ولی نباید
متوقع این امر باشیم، و عدم توفیق ما در یافتن چنین مودل
یا چنین تصویری را نباید نشانه این بگیریم که استدلال یا
معرفت ما نادرست است.

ساختن مودلها یا تصویرها برای توضیح فورمولهای
ریاضی و نمودهایی که این فورمولها بیان کننده آنها هستند،
گامی به سوی حقیقت نیست، بلکه گامی است که سبب
دور شدن از حقیقت است؛ بدان می‌ماند که بخواهند از
روح مجرّدی مجسمه‌ای بپراشند.

استاد شروودبنگر خود مؤکداً اظهار می‌کند که به
وی نباید همچون پیشنهادی در خط فکری بیان شده توسط
سر جیمز جینز نظر کنند. شاید وی خود از این امر
آگاهی ندارد. ولی این واقعیت به جای خود باقی است که
کاری که به دست وی صورت گرفته تأثیری اساسی در این

مرحله خاص از فیزیک جدید داشته است. از همین لحاظ
است که باید از حیث ارتباطی که با تمایل فرهنگی زمان
ما دارد مورد توجه قرار گیرد.

علم ، نظرية

و

انسان

علم، هنر، و بازی

در انسان، همچنان که در دیگر انواع، هدف نخستین اندیشه و عمل بر آوردن نیازمندیها و حفظ حیات است. تا زمانی که اوضاع زندگی بسیار نا مساعد نباشد، همیشه يك نیروی اضافی باقی می ماند و این حتی در مورد حیوانات نیز صادق است. حتی در حیوانات، این نیروی اضافی به صورت بازی جلوه گر می شود؛ حیوانی که مشغول بازی است، از این واقعیت آگاهی دارد که فعالیت وی متوجه به هدفی یا به منظور بر آوردن نیازی از زندگی نیست. گلوله نخعی توجه بچه گربه ای را جلب می کند و او را به خود مشغول می دارد، ولی آن بچه گربه چشم آن ندارد که خوراکی لذیذی را که در آن مخفی است به چنگ آورد. سگ، پاره سنکی را که پرتاب کرده ایم، با

دانشمند پژوهنده به زودی این واقعیت را از یاد می برد - و حق این است که اگر بخواهند کارشان روشی داشته باشد باید آن را فراموش کنند. ولی، عموماً، هدفها آزادانه توسط خود هنرمند یا دانشپژوه انتخاب می شود، و این خود کارزاید و غیر لازمی است؛ اگر این هدفها تعقیب نشود، هیچ زبان مستقیمی ندارد. آنچه در اینجا کار می کند نیرویی اضافی است که در ماورای تلاش خالص برای زیستن در اختیار ما قرار گرفته است؛ بدین ترتیب هنر و علم مانند ورزش و بازی از امور نفسی و تجملی هستند، و این نظری است که در قرنهای گذشته بیشتر از زمان حاضر مورد قبول بوده است. یکی از مزایای امیران و جمهوریهایی شکوفا این بود که بکوشند تا هنرمندان و دانشمندان را در اطراف خود جمع کنند، و در مقابل فعالیت آنان که نتیجهای جز وقتگذرانی و سرگرمی و کسب شهرت برای شهر یا کشور ایشان نداشت، وسایل معیشت آنان را فراهم آورند. در هر دوره به چنین کاری همچون علامتی از بیرومندی داخلی و سلامت کشورها نظر می شد، و فرما روايان و ملت هایی که به چنین تجمل عالی

دهان می گیرد و برای ما می آورد، و با چشم خود اشماس می کند که بار دیگر آن را برای بازآوردن وی برتاب کنیم: «هدفی در برابر من قرار بده؛ من هیچ هدف ندارم و دوست دارم که هدفی داشته باشم.» در انسان، این فرونی نیرو، علاوه بر بازی بدنی یا ورزش، سبب پیدا شدن يك بازی عقلانی نیز می شود. مثالهایی از چنین بازی فکری و عقلی، بازیهای متعارفی همچون و رقبازی و بازی تخته دومینو و حل معما است، و من می توانم هر نوع فعالیت فکری و نیز علم را در شمار آنها بیاورم؛ و اگر همه علم چنین باشد، به هر صورت علم پیشقراول چنین است و منظورم از آن کار پژوهشی محض است.

بازی و هنر و علم میدانهایی از فعالیت بشری هستند که در آنها عمل و هدف، بنا بر قاعده معینی، از روی ضرورت های زندگی تعیین و تحمیل نشده اند؛ و حتی در حالت استثنایی که چنین بوده باشد، هنرمند خلاق یا

۱- کلمه «علم» در اینجا، بنا بر معارف ترجمه کلمه آلمانی Wissenschaft است که شامل ادبیات و باستانشناسی و قهوالله و تاریخ و غیره نیز می شود.

و این منبع لذت خالص و بلند مرتبه دسترس داشتند مورد رشک دیگران واقع می شدند.

اگر این نظر پذیرفته شود، ناچار باید هدف اصلی و عالی علم امروز را، مانند هر عصر دیگر، در این واقعیت بدانیم که لذت کلی زیستن را افزایش می دهد. وظیفه آموزگار علم این است که به مستمعان خود معرفتی بدهد که در حرفه های ایشان سودمند باشد؛ ولی باید میل شدید داشته باشد که این کار را به صورتی انجام دهد که مسرت خاطر ایشان را فراهم آورد. لاف باید از سخن گفتن در برابر گروهی از کارگران که يك ساعت از وقت فراغت خود را به امید دست یافتن به لذتی عقلی صرف شنیدن سخنان او می کنند، همان اندازه خشنود باشد که از سخن گفتن در برابر گروهی از مهندسان يك دستگاه صنعتی که اساس کارشان بهره برداری علمی از یکی از تازه ترین پژوهشهای علمی است (به آن نیازی ندارم که در اینجا از کیفیت لذتی که از معرفت محض حاصل می شود چیزی بگویم؛ کسانی که آن را چشیده اند می دانند که عنصری زیبا شناختی بدان است و با لذتی که

از مشاهده يك اثر هنری حاصل می شود ارتباط نزدیک دارد. و کسانی که هرگز آن را نچشیده اند، نمی توانند آن را بفهمند؛ ولی این دلیل آن نمی شود که این کسان در گریبان اجتماع ما را ترك کنند. چه می توان تصور کرد که در جای دیگری در محیط هنر وسیله جبرانی پیدا کنند، مثلاً، در به کار انداختن آزاد و بیرومندانه بدنی خوب پرورده شده در ورزش یا بازی یا رقص. چون به صورت کلی سخن گفته شود، باید بگویم که همه اینها از يك مقوله اند، یعنی به تجلی آزاد نیروهای شریفی تعلق دارند که در ماورای فعالیت های خاص سودمند برای زندگی باقی می ماند و مایه لذت بردن خود شخص و دیگران می شود.

ممکن است چنین اعتراض شود که میان فعالیت علمی و هنری، و حتی بیش از آن میان فعالیت علمی و فعالیت آمیخته به بازی، اختلاف وجود دارد، و اساس این اختلاف در آن است که فعالیت علمی در شکل دادن به زندگی و برآوردن نیازمندیهای آن سخت تأثیر می کند؛ ممکن است گفته شود که فعالیت علمی به صورتی بسیار

عالی در بهبود بخشیدن به زندگی سپیم است ، و مهارت
 پزشکان و مهندسان و فرزانه‌گی قضات و سیاستمداران
 میوه‌های همین فعالیت است ؛ و نیز ممکن است به
 صورتی جدی چنین استدلال کنند که این میوه‌ها که همه
 افراد نوع بشر می‌توانند در استفاده از آنها سپیم باشند ،
 ارزشی بسیار برتر از خوشی و لذت تحقیق و اکتشاف
 دارند که راه دست یافتن به آنها تنها برای معدودی مردمان
 ممتاز و شئوندگان سخنان و خوانندگان آثار ایشان باز
 است . از طرف دیگر ، ممکن است چنان احساس شود که
 برابر کردن این خوشیها با هنر ، کمی از روی غرور و تکبر
 است . از این گذشته ، آیا به جد می‌توانیم نتایج عملی
 علم را به عنوان محصول فرعی فراغتهای به مصرف تحصیل
 علم رسیده قبول کنیم ؟ آیا بهتر آن نیست که به شادیهای
 پژوهش همچون مصاحب مطبوع کاری بنگریم که به خودی
 خود ، از اینکه لهوا می‌باشد به دور است ، و کاملاً سخت
 و جدی و مصروف به هدفهای عملی است ؟

داوریهای در باره ارزش جنبه احتمالی دارد . در
 این بحثی نیست که نوع بشر به جرّاحی جدید و به مردانی

که با بیماریهای واگیر دار مبارزه کرده‌اند مدیون است .
 ولی این را نباید فراموش کنیم که پیشرفت جرّاحی تریاقی
 بوده است که نومیدانه بر ضد پیشرفت علم به کار افتاده
 به آن نیاز داشته‌اند ، و آن علم بدون غمگساری دستهای
 جرّاح ماهر و قابل تحمل نبوده است . غرض آن نیست
 که از علوم عملی و تطبیقی در زندگی بد گویی کنیم ؛
 حقیقت این است که ، در نظر من ، یکی از دستاوردهای
 اساسی شهرت علم تطبیقی جدید این است که توجهی به رفاه
 مادی و ائمنی شخصی ندارد ، و ارزشهای عقلی محض را
 ترویج می‌کند و حتی می‌آفریند که تنها برای خود وجود
 دارند نه برای تأمین غرض مادی خاص . آنچه در اینجا ،
 از لحاظ اهمیتتی که دارد ، بیشتر ذهن مرا به خود مشغول
 می‌کند ، مسئله از میان برداشتن فواصل است به قصد
 تسهیل ارتباط و توسعه فهم و اطلاع میان افراد بشر . قبول
 دارم که این غلبه بر فواصل جنبه های مادی مخصوص به
 خود را دارد . بازرگانی که در هامبورگ زندگی می‌کند ،
 ممکن است چهار روزه به نیویورک برسد ؛ وی به وسیله
 سیستم روزانه از نرخ ارزها در کشتی با خبر می‌شود ، و

می تواند به کارکنان دفتر خود دستوراتی بدهد ، و نظایر
 اینها . ولی آیا ما ، نوع بشر عموماً ، واقعاً به چنین سرعتی
 در کارهای معاملاتی علاقه داریم ؟ به جرأت در جواب
 می گویم که نه . آنچه واقعاً در دل داریم چیزی از نوع
 دیگر است . آنچه حقاً مایهٔ مسرت ما می شود چیزی است
 است از نوع دیگری که با آن اختلاف فراوان دارد .
 شعار کسانی که می توانند به دیدار سرزمینهای دیگر
 بروند ، بسیار بیشتر از بیشتر شده است ؛ ملتها به
 یکدیگر نزدیکتر شده اند ، و می توانند تمدنهای یکدیگر
 را ارزیابی کنند و مقاصد یکدیگر را نیکوتر بفهمند .
 مردمان شجاع می توانند به سرزمینهای یخبندان قطبی
 بروند ، بی آنکه ما ناچار باشیم ماهها و سالها نگران
 احوال ایشان باشیم ، چه با مخابراتی که می کنند بر ما
 معلوم است که در کجا هستند و می توانیم در صورت لزوم
 به یاری ایشان برخیزیم . و بالاخره ، لذت فنی خالص
 غلبه بر دشواریها ، و لذت کامیابی ، گذشته از مزایای
 علمی که دارد ، پیوسته جای بزرگتری را تصرف می کند ،
 و این نه تنها در فکر کسانی است که مستقیماً با آن سرو

کار دارند ، چه ایقان محضاً در همهٔ زمانها چنین لذتی
 را می آموذدند ، بلکه در فکر و ذهن همهٔ مردمان
 نیز چنین است . اختراع زپلین و توار آبی اقیانوس
 اطلس که نصیب آلمان شد ، شهرتی برای آن فراهم آورد
 شبیه شهرتایی که شاعرانی چون واثرو و تاسو و آریوستو
 برای در بارهایی که منظومه های خود را به نام آنها
 سروده اند فراهم آورده بودند .

این ملاحظات و نظایر آنها ما را متقاعد می کند که
 علم با همهٔ نتایج آن کار چندان به جد مایهٔ نوبدی
 نیست و اینکه ، با در نظر گرفتن همهٔ جهات ، کمتر از
 آنچه عموماً تصور می شود در ایجاد رفاه مادی سهیم است ،
 در صورتیکه نیش از آنچه عموماً تصور می شود مایهٔ لذت
 فکری محض است . درست است که تأثیر آن بر روی
 توده ها عموماً غیر مستقیم است ، و بسیار کم اتفاق می افتد
 که علم بتواند با عرضه کردن نتایج مستقیم خود به
 افراد بیشمار مایهٔ شادی و مسرت ایشان شود ؛ و این کار
 تنها دران هنگام صورت می گیرد که بتواند در برابر
 اجتماع اثری هنری را قرار دهد . به هر صورت ، کسانی

که با نفس حبس شده در سینه و زانوی لرزان در برابر
 رؤیای کهن دو هزار ساله زیبایی آفریده شده با مرمر
 سفیدی ایستاده‌اند که با کوشش باستانشناسان در موزه برلن
 نصب شده است، متوجه خواهند شد که، لااقل تا آنجا
 که به علم باستانشناسی مربوط می‌شود، به این سؤال که
 چرا رسیدن به این زیبایی را این همه دنبال کرده‌اند جواب
 داده شده است. قاعده کلی این است که راه توده‌ها دراز
 است و چندان راست هم نیست، و در بعضی از حالات نادر
 چنان می‌نماید که سد و مانع کاملی آن را بسته است.
 با وجود این، باید خواستار آن باشیم که حق وجود پیدا
 کردن را، حتی برای شکوفه‌های بسیار دور درخت
 معرفت، محترم و معتبر بشماریم؛ و دلیل ما این است که
 آنها نخست بایست یکدیگر را چنان بارور کنند که
 شاخه‌های دیگری بتواند میوه‌های قابل لمسی برای تمام
 بشریت، مانند گراف زپلین یا محراب پرگامون به بار

۱- یاد داشت مؤلف: اگر این مطلب از اول برای خوانندگان
 انگلیسی نوشته شده بود، شاید به جای «زپلین» مثال دیگری
 انتخاب می‌شد. حالا که چنین نیست، بگذارید آن را همچون

←

آورد.

از يك لحاظ، واقعاً، شماره افرادی که در يك
 تکامل فرهنگی شرکت می‌کنند، چندان با خود آن تکامل
 ارتباطی ندارد. حقیقت این است که علم حساب را
 نمی‌توان در موضوعات فکری و نیز در تجلیات دیگر
 زندگی به مورد استعمال گذاشت: عمل ضرب کردن در
 اینجا غیر ممکن است. هنگامی که برق فکری در مغز
 مرد متفکری بجهد، آن فکر به وجود آمده است و دیگر
 با اینکه صدها نفر دیگر هم در پی آن بیفتند چیزی بران
 افزوده نمی‌شود. این استدلال صحیح است؛ ولی به این
 حقیقت نیز باید توجه داشته باشیم که ما تنها با يك تکامل
 تمدن یا با يك ناحیه محدود فکری سر و کار نداریم،
 بلکه با کثرتی رو به رو هستیم؛ و به همین دلیل، حتی
 از لحاظ علمی و تحقیقی خاص هم، مطلوب چنان است که
 وسیله دست یافتن به این گنجینه‌های فکری و عقلی تسهیل

→
 مثال برجسته‌ای تلقی کنیم از اینکه چگونه آخرین و پادشاهین
 کاری که به دست علم صورت می‌گیرد، غالباً از اینکه بتواند
 رفاه و آسایش مادی را فراهم آورد، قاصر می‌ماند.

شود و راه رسیدن به آنها برای بیشترین شماره ممکن از اشخاص هموار باشد، و اندیشه آن نباید داشت که این گونه اشخاص بهره‌ای که ازان گونه مطالب می‌برند بسیار ناقصتر از بهره‌ای است که مردمان وارد در این گونه مطالب می‌برند. بدین ترتیب شانس روز افزون هست که عدم‌ای از ارزشهای فرهنگی، در شرایط مساعد، به ملکیت يك فرد در آید؛ و این خود به يك «عمل ضرب» واقعی ارزشهای فرهنگی و البته به بیشتر ازان می‌انجامد. هنگامی که اندیشه‌ها به ثمر می‌رسد، به تکاملهای تازه و پیشینی نشده راهبر می‌شود.



گاه گفته می‌شود که فیزیک امروز در مرحله تحول و انقلاب است؛ و این مرحله را بعضی زیر عنوان بحران بیان می‌کنند. چنین مرحله‌ای یکی از مراحل فعالیت خارج از متعارف و افزایش نیروی حیاتی است. از لحاظ زبان‌شناختی لفظ انگلیسی نماینده «بحران» یعنی crisis (از یونانی کریسیس که به معنی تصمیم است) کلمه مناسبی است؛ ولی اگر بنا باشد که این کلمه چیزی

شبیه به يك بحران در کسب یا در هیئت وزرا یا در سیر يك بیماری را به ذهن القا کند، باید گفت که مایه سوء فهم و گمراهی است. در این حالتها به يك مرحله از تصمیم متوجه می‌شویم که در پی آن فرو ریختگی و اضمحلال است، در صورتی که در علم مقصود ما این است که واقعیتها یا اندیشه‌های تازه‌ای پیش آمده است که ما را ناگزیر ازان می‌سازد که در مورد مسائلی که تاکنون راه بحث در آنها باز بوده، یا، بیش ازان، در مورد مسائلی که هرگز اطلاع ما در باره آنها از يك آگاهی مبهم فراتر نرفته بوده است، وضع معین و خاصی اختیار کنیم. درست همان میل و آرزوی ما است به اینکه مجبور ازان باشیم که وضع خاصی اختیار کنیم؛ و در علوم صحیح چنین اجباری غالباً، از طریق تجربه‌هایی که تجربه‌های صلیبی و قاطع نامیده می‌شوند، به عمد و از روی قصد فراهم می‌شود. هر چه نتیجه‌ای که حاصل می‌شود اهمیت بیشتر داشته باشد، «بحران» حاصل شده «بدتر» خواهد بود، و به صورتی قطعی‌تر به گسترش و روشن کردن معرفت علمی ما کمک خواهد کرد. به نظر من خود مرحله بحرانی شباهتی با

مراحل تبالوده يك بیماری دارد، و این نتیجه زیر و رو شدن معتقداتی است که تا زمان پیدایش بحران سالم و خالی از خطر به نظر می‌رسیده است؛ سرسام و هذیان‌گویی دانشمندان کم نیست. ولی این مقایسه بدون افزودن این مطلب نادرست است که: در مورد علم، بیماری برای بیمار، پس از بهبود یافتن، زندگی آزاد تر و سعادتمند تر و گسترده تر را تضمین می‌کند. از بحران در علوم فردی چنین استنتاج کردن که چیزی به عنوان سپیده دم کلتی علم وجود دارد، اشتباهی است که بر پایه مخلوط کردن و به جای یکدیگر گرفتن کلمات حاصل می‌شود.

ولی با آنکه متوجه این مطلب شدیم که این مرحله بحرانی غیر متعارفی و ناهنجار نیست، و منادی بدبختی به شمار نمی‌رود، هنوز با این سؤال رو به رو هستیم که چرا چنین است که تغییر مبنا پیدا کردن ارزشها، که در واقع يك نمود دایمی است، نه تنها در علم بلکه در بسیار و شاید در اغلب چیزها بدین صورت حادث در آمده است. در ریاضیات و شیمی و نجوم و روانشناسی مسئله از همین قرار است. آیا این را می‌توان تصادفی دانست؟

در علوم تجربی، واقعیت‌های دارای اهمیت فراوان به ندرت بنا بر تصادف اکتشاف می‌شوند: بیشتر چنان است که اندیشه‌های تازه راه رسیدن به آنها را نشان می‌دهند. اندیشه‌هایی که زمینه علوم فردی را می‌سازند، ارتباط درونی طرفینی با یکدیگر دارند، ولی در عین حال به صورتی بسیار ابتداییتر، با یکدیگر و با اندیشه‌های قرن ارتباط مستحکم دارند. این ارتباط طرفینی نتیجه این واقعیت ساده است که چند در صد نسبتاً مهم و در حال افزایشی از مردمان که زندگی خود را وقف مطالعات علمی کرده‌اند، خود موجوداتی بشری هستند که در جهان کلتی افکار عصر شرکت دارند. تأثیر این افکار را می‌توان غالباً در انشعابات دور از انتظاری پیدا کرد. مثلاً، چند سال پیش از این، علم نجوم به نوعی از تصلب شرابین تهدید می‌شد، و این تهدید نتیجه آن بود که هیچ بحرانی در افق وجود نداشت؛ و خلاص شدن نجوم از این نمود عصر کهن، بیش از آنکه در نتیجه تکامل اسبابهای کار آن و پیشرفتهای علم فیزیک در تعبیر طیفهای اختری بوده باشد، نتیجه پیدا شدن فکری کاملاً نو و مستقل از علم نجوم

بود. چنین پیشنهاد شد که به اکتشافات واقعاً تازه از راه تحقیق دقیق در افراد ستارگان نمی‌توان رسید، بلکه راه این کار تطبیق اصول آماری مقایسه‌ای بر گروههای عظیم ستارگان است. این اندیشه، که به صورتی روشن با تمایلات دیگر زمان پیوستگی دارد، راههای وسیع تازه‌ای را گشود و فهم ما را از فضا تقریباً به صورت بینهایت گسترش داد.

قرن ما در تحت تسلط ضرورتی است از خرده‌گیری و انتقاد از عادات و معتقدات سنتی. روح تازه‌ای در حال طلوع است که نمی‌خواهد چیزی را به استناد قدرت و حجتی بپذیرد، و هیچ چیز را به اندازه اندیشه معقول و مستقل ما در باره هر چیز روا نمی‌دارد، و از هیچ حمله که متکی بر چنین اندیشه‌ای باشد، ولو اینکه متوجه مقدس‌ترین امور در نظر ما بوده باشد، جلوگیری نمی‌کند. به عقیده من این روحیه علت مشترکی است که در زمینه هر بحران علمی زمان حاضر وجود دارد. نتایج آن جز سودمند نیست: هیچ ساختمان علمی کاملاً به حالت ویرانی در نمی‌آید: آنچه شایسته محفوظ ماندن

است خود را حفظ می‌کند و به هیچ حمایتی نیازمند نیست. به عقیده من این مطلب تنها برای علم صحت ندارد، بلکه به میدان وسیعتری تعلق می‌گیرد. هرگز ضروری نیست که روحیه زمان مورد حمله قرار گیرد: آنچه شایسته زیستن و ماندن است، با کامیابی مقاومت خواهد کرد.

و معلول آن، و نه کلیت این ارتباط در سراسر طبیعت،
به خودی خود مشهود نیست و جزئی ضروری از اندیشه ما را
نمی سازد.

ضمایم ثبات قوانین طبیعت در نزد ما تنها تجربه است.
پس چرا تنها به هیچ دلیل جز اینکه حوادث گذشته چنین
بوده اند به این تجربه ارزش می دهیم؟ چرا به آنچه در گذشته
اتفاق افتاده حق می دهیم که در چشمداشت ما از آنچه در
آینده باید اتفاق بیفتد تأثیر کند و آن را در خط معین
بیندازد؟ جوابی به این سؤال جز این نمی توان داد که این
روش تأثیر کردن در چشمداشت ما و کنترل کردن آن تا
زمان حاضر سودمند بوده است و به همین جهت ما از آن دست
بر نمی داریم. چنین جوابی در واقع پذیرفتن امری بدون
دلیل است. بهتر این است که سؤال را بدین صورت طرح
کنیم: چرا انتظار آن را داریم که آنچه تاکنون سودمند
بوده است، در آینده نیز چنین بماند؟ البته می توان برای
پذیرفتن این نظر دلایلی اقامه کرد؛ ولی این تنها وقتی
امکانپذیر است که نقطه توقف خود را عوض کنیم. آنگاه
متوجه خواهیم شد که، چون سیر حوادث در طبیعت تا زمان

II

قانون شانسی یا تصادف

مسئله علیت در علم جدید

در حوالی نیمه قرن هجدهم، دیوید هیوم این مطلب
را بیان داشت که ارتباطی درونی و ذاتی میان علت و معلول
وجود ندارد که عقل آدمی بتواند آن را دریابد و فهم کند.
و نیز وی بر این عقیده بود که علت بودن يك نمود برای
نمود دیگر (مانند برآمدن خورشید برای گرم شدن زمین)
مستقیماً قابل دریافت نیست. تنها این مطلب را ادراک می کنیم
که يك نمود - بر آمدن خورشید - پیوسته نمود دیگری را
در پی دارد که گرم شدن سطح زمین است. و نیز مشاهده
شده است که توالی تخلف ناپذیر بعضی از حوادث با بعضی
دیگر محدود به رشته خاصی از نمودها نیست، بلکه سیمای
خاصی از طبیعت است. ولی نداشتن ارتباط میان يك علت واحد

حاضر در زیر فرمان نظمی بوده است ، انواع حیوانی که توانسته‌اند از مزیت تطبیق کردن رفتارها و توقعات خود با تجربه گذشته استفاده کنند ، امکان بقای درضمن تنازع بقا برای ایشان فراهم نشده و مدت‌ها پیش همین نقص آنان را از صفحه هستی برانداخته است . بنابراین تنها این واقعیت که ما ، موجودات بشری ، باقی مانده‌ایم و این سؤال را طرح کرده‌ایم ، تا حدی نشان می‌دهد که جوامعی که خواسته شده چگونه است .

البته هیوم به هیچ وجه شک نداشت که در جهان خارجی نظم غلبه دارد که توجه به آن ما را به مفهوم بسیار سودمند و عملی ارتباط ضروری علیتی میان یک پیشامد طبیعی و پیشامد دیگر رهبری می‌کند . ولی در چند سال معدود گذشته ، وجود عینی و قطعی خود این نظم مورد تردید قرار گرفته است . شکها از شاخه‌ای از مطالعات بشری برخاسته است که کمتر انتظار آن را داشتیم که از انجا برخیزد ، یعنی از علم دقیق و صحیح فیزیک . بنیان این شکاکگیری تغییر دیدگاهی است که ناچار بودیم به آن تن در دهیم . آموخته‌ایم که با اکثریت عظیم فرایندهای فیزیکی و شیمیایی همچون

نمودهای توده‌ای نظر کنیم که به وسیلهٔ عدد زیادی از وجودهای فردی فراهم می‌آیند که به آنها نام اتم و الکترون و مولکول می‌دهیم . و نیز این مطلب را آموخته‌ایم که نظم فوق‌العاده صحیح و دقیقی که در این فرایندهای فیزیکی و شیمیایی مشاهده می‌کنیم ، مربوط به یک قانون کلی است که آن را چنین می‌توان بیان کرد : در هر فرایند فیزیکی و شیمیایی ، انتقال ، از اوضاع و احوال نسبتاً منظم گروه‌های اتم‌ها و مولکول‌ها به اوضاع و احوال بینظم‌تر صورت می‌گیرد . به عبارت دیگر ، انتقالی است از نظم به بینظمی ، درست بدان صورت که گویی هر عضو از گروه کمایش به راه خود می‌رود بی آنکه نقشه‌ای داشته باشد یا از قانونی معینی پیروی کند . قوانین صحیحی که به نظر ما می‌رسید «قوانین آماری» است . در هر نمود توده‌ای ، این قوانین ، هر اندازه شمارهٔ افرادی که در نمود همکاری دارند بیشتر باشد ، آشکارتر جلوه‌گر می‌شوند . و حتی قوانین آماری دران زمان بهتر تجلّی می‌کنند که رفتار هر یک از وجودهای فردی به صورت قطعی معین و محدود ندهد ، بلکه تنها وابسته به شانس و تصادف باشد . با چنین اوضاع و احوال این مطلب

کاملاً قابل فهم می شود که انتقال مداوم از نظم به بینظمی، ناچار باید قانون فرمانروا و خصوصیت اساسی همه فرایندهای طبیعی بوده باشد. در فیزیک چنان تصور می شود که این امر سرچشمه ای است که تمایل یکجبهتی معین همه پیشامدهای طبیعی ازان برمی خیزد. اگر یک حالت ابتدایی، که ممکن است علت نامیده شود، مستلزم یک حالت بعدی باشد، که ممکن است معلول آن نامیده شود، این حالت دومی، بنا بر آنچه فیزیک مولکولی به ما می آموزد، پیوسته تا بساماتش یا کم نظمت تر است. از این گذشته، این حالت دوم حالتی است که با درجه احتمال بسیار شکفت انگیزی می توان آن را پیشبینی کرد، البته به شرط آن که این مطلب را پذیرفته باشیم که رفتار یک مولکول واحد مطلقاً تا بسامان و پیرو تصادف است. و بدین ترتیب است که با این معما رو به رو می شویم که، از لحاظ مرد فیزیکدان، تصادف در رشته علتیت قرار گرفته است.

اکنون باید نمونه هایی از زندگی روزانه بیاورم و نشان دهم که چگونه بازی تصادف محض ممکن است به نتایجی قابل پیشگویی منجر شود: کتابخانه عظیمی را در

نظر بگیرید که هر روز پس از روز دیگر هزاران شخص کنجکاو ازان دیدن می کنند، و روز شنبه ای صبح که دیدار کنندگان به کتابخانه می آیند، همه کتابها با نظم صحیح بر روی رفها چیده شده است. حال فرض کنیم که این دیدار کنندگان مردمانی بد تربیت شده و مخالف با نظم بوده باشند، و تنها به خاطر کنجکاوی و نگاه کردن به این کتاب و آن کتاب به کتابخانه آمده باشند، و نیز چنان تصور کنید که هر دیدار کننده، پس از آنکه کتابی را از جای خود برای تماشا کردن برداشت، دیگر به خود زحمت آن را نمی دهد که کتاب را در جایش قرار دهد، بلکه هر جا از قفسه ها که شد آن کتاب را می گذارد. نتیجه کلی آن خواهد بود که کتابخانه در معرض انتقال یکجبهته از نظم به بینظمی سیر کند. اکنون چیزی که مایه تعجب می شود آن است که این فرایند تابع قوانین معینی باشد، مخصوصاً اگر این راهم فرض کرده باشیم که همان گونه که کتابها اتفاقی بر روی رفها گذاشته می شوند از روی آنها هم اتفاقی و بی پیروی از هیچ قاعده ای برداشته شده باشند.

اکنون اوضاع و احوال را یک هفته پس از این هجوم وحشیانه مورد پژوهش قرار می‌دهیم. اگر چنان فرض کنیم که، مثلاً، در روز ورود آن مردمان بیقاعده، بر یکی از رفهای کتابخانه هشتاد جلد از آثار گوتته به نظم خاصی چیده بوده است، و اکنون بینیم که تنها شصت جلد از آنها بر جای خود باقی است و مابقی را اینجا و آنجا پراکنده اند، می‌توانیم انتظار داشته باشیم که در هفته دوم حدود پانزده جلد و در هفته سوم حدود یازده جلد از جای خود به این سو و آن سو برده خواهد شد، و قس علی هذا. چه از آن جهت که فرض ما این بود که کتابها را کاملاً اتفاقی از جای خود بر می‌دارند، احتمال اینکه یکی از کتابهای بازمانده گرفتار چنین بدبختی شود، با کاسته شدن از شماره کتابها کمتر می‌شود. در اینجا با قانونی کلی رو به رو هستیم که از نوده‌ای از حوادث بینظم و آشفته برخاسته است. شماره جلد‌ها در محل حقیقی خود، به قانون قوامی، یا چنانکه علمای ریاضی می‌گویند، به قانون تصاعد هندسی کاهش می‌یابد.

درست همین قانون را در چندین فرایند فیزیکی و

شیمیایی، مانند تبدیل خود به خود عنصری به عنصر دیگر، یا در آنچه اصطلاحاً تلاشی مواد رادیو آکتیو نامیده می‌شود، مشاهده می‌کنیم. من اطمینان دارم که در مورد کتابهای کتابخانه، خواننده در پذیرفتن اینکه پراکنده شدن آثار گوتته عملاً با صحت قابل ملاحظه‌ای تابع قانون مذکور باشد، دچار تردید می‌شود. و تردید او مورد تأیید است. پس آیا در حالتی مانند این، هیچ حق و مؤیدی برای وضع «قانون» وجود دارد؟ بیشترین چیزی که ما به حق می‌توانیم انجام دهیم، پیشگویی کردن احتمالات است. آنچه واقعاً اتفاق می‌افتد، به شانس و تصادف وابسته است. در پاسخ این اعتراضات باید در نظر داشت که هر وقت تنها سر و کار ما با اعداد کوچکی همچون هشتاد جلد کتاب یک کتابخانه است، باید آماده قبول این امر باشیم که شماره کتابهای که عملاً و واقعاً در هر مرحله بر جای خود باقی می‌ماند، به صورت جالب توجهی از شماره مورد انتظار بنا بر «قانون» انحراف دارد. ولی از طرف دیگر، با ۸۰،۰۰۰ جلد به جای هشتاد جلد (در کتابخانه‌ای مشتمل بر چند ملیون کتاب) انحراف اتفاقی کسر بسیار

کوچکتری از شماره کل کتابهای پیشگویی شده خواهد شد. امکان این محاسبه هست که در مورد بلیونها اتوم که در هر فرایند فیزیکی و شیمیایی وارد می شوند، پیشگوییهای آماری محض با همان درجه از صحت مورد تأیید واقع شود که عملاً در قوانین طبیعی به نظر می رسد. ولی البته هرگز، با صحت مطلق موافق در نمی آید. بزرگترین پیروزی نظریه آماری قانون طبیعت، و قانع کننده ترین برهان در تأیید آن، این است که در بسیاری از حالات، مانند تبدیل رادیو آکتیوی که ازان سخن گفتیم، انحرافات کوچک و کاملاً بیقاعده ای از قانون واقعاً مشاهده شده است. و ثابت شده است که درست از نوع و اندازه ای هستند که نظریه آماری پیش ازان حساب کرده بوده است.

به عنوان مثال دیگری از اینکه چگونه نظم از شانس و تصادف بر می خیزد، می توانیم از شرکتهای بیمه سخن بگوییم. حوادثی که بر ضد آنها بیمه می شویم - تصادف، مرگ، آتشسوزی، دزدی - وابسته به هزاران شانس و تصادفند. ولی برای شرکت بیمه این اهمیت

ندارد که کدام يك از ساختمانهای بیمه شده در ظرف سال آینده خواهد سوخت، یا کدام شخص بیمه شده دچار تصادف خواهد شد. تنها چیزی که برای آن اهمیت دارد این است که بداند چند درصد از بیمه شده ها با يك بدبختی رو به رو خواهد شد که شرکت بیمه ناچار باید آن را تلافی کند. این چند درصد را، با ملاحظه آمارهای سالهای گذشته، می توان پیشبینی کرد. بنابراین، با وجود آنکه امکانی برای پیشگویی سرشست هیچ يك از بیمه شدگان وجود ندارد، شرکت می تواند با اطمینان خاطر، در مقابل حق بیمه ای نسبتاً جزئی، زیانها را جبران کند، و خسارتهایی را که مضرب بسیار بزرگی از حق بیمه پرداختی سالانه است بپردازد.

گفتم که نظریه آماری توضیح معقولی از این واقعیت می دهد که سیر پیشامدهای طبیعی بیرو جهت معینی است که نمی توان آن را متعکس کرد. این توضیح عبارت از این است که تمایل یکجتهی را سیر از طرف حالتی با نظم بهتر به طرف حالتی با نظم کمتر (در هر حالت مفرد) از مجموعه اتومهایی که در کارند تصور کنیم. در اینجا با

قانونی کلی رو به رو هستیم که قانون دوم ترمودینامیک یا قانون آنتروپی نام دارد. بر این عقیده‌ایم که این قانون به همه فرایندهای فیزیکی و شیمیایی حکومت می‌کند، حتی اگر این فرایندها نتیجه پیچیده ترین و مفصلترین نمودها بوده باشد، همچون مبدأ حیات، یا پیدایش جهان بر طول و تفصیل موجودات آلی از آغازهای ابتدایی، یا طلوع و رشد فرهنگها و تمدنهای بشری. از این لحاظ، اعتقاد عالم فیزیک به بینظمی که پیوسته در حال افزایش است، تا حدی معماآیی و نامعقول به نظر می‌رسد، و ممکن است در مورد حکمی که مستلزم چیزی جز معنای خاصی نیست که دانشمندان فیزیک به آن می‌دهند، به آسانی به سوء فهم بد بینانه هولناکی بینجامد. به همین جهت است که توضیح مختصری در اینجا ضرورت دارد.

ما چیزی جز این نمی‌خواهیم بگوییم که ترازنامه کلی بینظمی در طبیعت پیوسته رو به افزایش است. در قسمتهای فردی جهان، با در دستگاههای هادی معین، ممکن است حرکت رو به درجه بلندتری از نظم بوده باشد، که امکان آن از این جهت است که در دستگاههای

دیگر جبران می‌شود. بنا بر آنچه فیزیکدان «نظم» می‌نامد، گرمای ذخیره شده در خورشید ذخیره‌ای افسانه‌ای برای نظم را نمایش می‌دهد، از آن جهت که هنوز به صورت متساوی به سراسر جهان توزیع نشده (با آنکه تقابل قطعی آن به طرف پراکنده شدن است)، و در زمان حاضر در قسمت کوچکی از فضا متمرکز شده است. تشعشع گرما از خورشید، که کسر بسیار کوچکی از آن به ما می‌رسد، فرایند جبران کننده‌ای است که اشکال گوناگون و توپرتوی حیات و حرکت را بر زمین، که غالباً نمایندهٔ سیماهای افزایش نظم هستند، ممکن می‌سازد. جزء کوچکی از گرمای عظیم تلف شده از سطح خورشید کافی است تا مایه بقای زندگی بر زمین باشد و مقدار لازم «نظم» را برای آن فراهم کند، ولی البته این کار تا زمانی امکانپذیر است که پدر دست و دل باز، به راه دور از حزم و دیوانه وار خویش خرج می‌کند، و هنوز می‌تواند اسباب جلال و تجمل سیارهای را فراهم آورد که ابر و باد آن را در میان گرفته‌اند، و خروش رودخانه‌ها و دریاها کفالود بران شنیده می‌شود، و زیور پر شکوهی

از گیاه و جانور و ملیونها نوع بشر در حال کوشش و تلاش
بران دیده می شود .

بهتر است به مسئله خاص " علیت باز گردیم . در
اینجا ما هنوز با قضیه ای رو به رو هستیم که به دو صورت
متناقض با یکدیگر قابل بیان است . یا این است که
شخص می تواند بر این اعتقاد باشد که جوهر واقعی یا
ساختمان ذاتی قوانین طبیعت ، بدون نقص از طریق تجلی
خاصیت آماری آنها اکتشاف شده ، و بنابراین لازم است
که اندیشه ارتباط ضروری علیتی میان حوادث طبیعی از
تصویری که از جهان داریم حذف شود ، همان گونه که
مفهوم گرما به صورت سیال ، در آن هنگام که معلوم شد
گرما حرکت اتفاقی خرد ترین ذرات است از فیزیک حذف
شد . اگر ، به پیروی از هیوم ، اصل علیت را سیمای
لازمی از اندیشه نشناسیم ، بلکه آن را عادت شایسته ای
بدانیم که از مشاهده آن نظم پیدا شده است که در سیر
پیشاهندهایی دیده می شود که تنها خصوصیت آماری آنها
اکنون به روشنی مشهود است ، البته تمایل به آن خواهیم
داشت که این اصل علیت را فنا کنیم .

ولی اگر با هیوم موافق نباشیم ، و بر این عقیده باشیم
که اصل علیت چیزی از نوع قلیات و حقایق مساوی
تجربه است ، و جزئی ضروری از اندیشه ما را تشکیل
می دهد ، و به صورتی ناگزیری مهر خود را بر هر تجربه
ممکن می زند ، آن وقت است که ناچار باید صورت دوم
قضیه را بپذیریم که آن را چنین می توان بیان کرد : باید
قبول کنیم که رفتار هر اتم در هر حادثه مفرد به فرمان
علیت صلب و قاطع معین می شود . و حتی می توانیم چنین
اظهار نظر کنیم که هر چه معینگری علیتی قطعی فرایندهای
جزئی را با تمام جزئیات آن نمی توانیم ملاحظه کنیم ،
ازوماً باید آن را قبول کنیم تا حق آن را داشته باشیم که
نمودهای توده ای حاصل از همکاری آنها را با یکدیگر ،
با روشهای آماری و حساب احتمالات ، مورد تحقیق قرار
دهیم . از این دیدگاه ، علیت در شالوده قانون آماری قرار
می گیرد .

نظر دوم نظر محافظه کارانه است . نظر اول بسیار
انقلابی است . و یکی درست نفیض دیگری است . بنا بر
نظر انقلابی ، شانس و تصادف معین نشده اصالت دارد و

بیش از این قابل توضیح نیست. قانون تنها به صورت آماری از توده نموده‌ها به دست می‌آید، و نتیجه همکاری بلیونها شانس است که در این نموده‌ها نقش خود را بازی می‌کنند. بنا بر نظر محافظه کارانه، ضرورت و اجبار قانون اصالت دارد، و بیش از این توضیحی نمی‌توان داد، در صورتی که شانس نتیجه همکاری علتهای جزئی بشمارد است که دریافت آنها غیر ممکن است. بنا بر این در اینجا شانس امری ذهنی است. تنها نامی است برای ناتوانی ما از اکتشاف عمل تفصیلی علتهای متعدد کوچکی که با یکدیگر ترکیب شده‌اند.

شاید با تجربه توان راهی برای انتخاب این نظر یا آن نظر پیدا کرد. چه روشهای استدلال محض آشکارا به ما این اجازه را می‌دهد که شانس را از قانون متفرع بدانیم یا قانون را از شانس. هر جا که سر و کار ما با فرایندی دارای تعیین قانونی باشد که آخرین عنصر ساختمانی شناختنی را در تصویری که از جهان می‌سازیم تشکیل می‌دهد، ناحیه‌ای از شانس در پشت سر آن می‌توان فرض کرد که سبب پیدا شدن همین قانون از طریق آماری

شده باشد، البته بدان شرط که کسی خواستار چنین فرضی بوده باشد. و به طریقی مشابه، قهرمان اصل علیت حق دارد چنان بیندیشد که هر شافی که به نظر او می‌رسد وابسته به عمل علتهای متغیر غیر قابل کنترل است که سبب پیدا شدن این یا آن معلول می‌شوند، ولی همیشه اجبار و الزامی با آنها همراه است.

اختلاف نظر جاری در باره اصل علیت خود مرحله‌ای از نگرش عقلی متغیر ما است، و شبیه آن است مسئله ماهیت واقعی زمان و مکان که خود به تازگی همچون نتیجه‌ای از نظریه‌های اینشتین بر خاسته است. حلقه اتصال کهن میان فلسفه و فیزیک، پس از آنکه موقتاً در چندین جا دچار ساییدگی شده بود، اینک دو باره تجدید می‌شود. هر چه علوم فیزیکی پیشرفته تر شود، کمتر می‌تواند از خرده گیریهای فلسفی صرف نظر کند. ولی در عین حال فیلسوفان نیز به صورتی روز افزون ناگزیر از آنند که با میدانهای بحث و پژوهشی که وصف قوانین معرفت حاکم بر آنها را وظیفه خود می‌دانند، آشنایی نزدیکتر پیدا کنند.

خود را می‌دانند، و به همین جهت است که من هم همین اصطلاح را به کار می‌برم.

مسئله‌ای که مطرح است این است: اگر دستگاهی فیزیکی داده شده باشد، آیا امکان آن هست که، لااقل از لحاظ نظری، بر فرض آنکه ماهیت و اوضاع و احوال آن در نقطه معین از زمان به درستی دانسته باشد، پیشگویی درستی نسبت به وضع آینده آن کرد؟ البته فرض آن است که از خارج عوامل نا شناخته و پیشبینی نشده بر روی این دستگاه تأثیر نمی‌کند، بلکه همیشه می‌توان این تأثیرات را، لااقل از لحاظ نظری، حذف کرد، به شرط آنکه همه اجسام و میدانهای نیرو و چیزهای مشابه آنها که بتوانند بر روی دستگاه تأثیر کنند مندرج در آن بوده باشند. به عبارت دیگر، فرض این است که وضع این عوامل خارجی نیز در لحظه اولی زمان به درستی دانسته است. ممکن است، و در واقع اگر به دقت استدلال کنیم یقین است، که برای آنکه چنین شود، دستگاه تحت مراقبت باید چندان گسترش یابد که سراسر جهان را فرا گیرد. با وجود این توهم یک

III

نامفیزیکی در فیزیک^۱

تغییرات ژرفی که در تصویر جهان، بدان صورت که فیزیک آن را نمایش می‌دهد، در سالهای اخیر پدید آمده، سبب آن شده است که مسئله علیت در وسط صحنه و در روشنی زیاد قرار گیرد؛ و بحث در این مسئله، به انتشارات علمی و فنی محدود نماند، بلکه به مطبوعات روزانه نیز کشیده شده است. من اینجا در صدد آن نیستم که پیشداوری کنم و بگویم که مسئله مورد بحث در واقع مسئله علیت به معنای فلسفی آن است که تنها با چسباندن برجسب علیت آن را مورد بحث قرار داده‌اند. این نام به این موضوعات داده شده، و آنان در زیر این پرچم کشتی

۱- این مقاله در تاریخ ۱۶ ژوئن ۱۹۳۱ در مقابل کنگره انجمن تعلیم و تربیت فلسفی در شهر برلن خوانده شده.

دستگاه محدود و به خود کافی ممکن است ، و در عمل بیوسه ، هر جا که قانونی از فیزیک بیان می شود ، از این تجربه استفاده می شود . بنا بر این سؤال به این صورت در می آید که آیا می توان رفتار چنین دستگاهی را ، به شرط داشتن درست وضع اولی آن ، پیشگویی کرد یا نه .

حدود پانزده سال پیش جواب مثبت بود: معینگری مطلق ، به صورتی ، از معتقدات اساسی فیزیک عملی به شمار می رفت . بهترین نمونه ، که این خط سیر را برای فیزیک تعیین کرده ، مکانیک رسمی (کلاسیک) بوده است ؛ اگر دستگاهی از نقاط جرمی ، با داشتن جرمها و اوضاع و سرعتهای آنها در لحظه ابتدایی زمان معین می بود ، و دلیر اگر قوانین نیرو را که بنابر آنها این نقاط در یکدیگر مؤثر می شدند می دانستند ، ممکن بود که پیش پیش حرکات آنها را برای تمام زمان آینده حساب کنند . و چون این نظریه در اجرام فلکی مورد تطبیق قرار گرفت ، پیروز مندان تأیید شد .

امروز بسیاری از فیزیکدانان بر آنند که چنین نظریه مبتنی بر معینگری محض حق طبیعت را ادا نمی کند ،

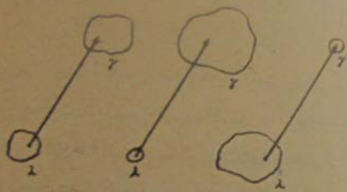
و نشاط جرمی و میدانهای نیرو یا امواج ، هر کدام به عنوان آجرهایی به کار روند که با آنها دستگاه خود را بنا می کنیم ، باز این مطلب درست است . این اعتقاد آنان به نیروی نتایج تجربی است که در ظرف مدت سی سال اخیر در فیزیک به دست آمده است - نتایجی که به اندازه گیریهای از هر نوع مربوط می شود ؛ به نیروی شکست مداوم همه کوششهایی است که برای فهم قانع کننده مجموع این تجربهها به میانجیگری مودلی مبتنی بر معینگری حاصل شده است ؛ و بالاخره به نیروی کامیابی بسیار معتبری است که با دست برداشتن از معینگری محض به آن رسیده اند .

واضح است که چنین کامیابی و ناکامی نمی تواند به خودی خود تکلیف مسئلهای به این مهمی را تعیین کند . هر اندازه با استواری متقاعد شده باشیم که معینگری سنگ راه همه کوششهایی بوده است که تاکنون سورت گرفته ، و هر اندازه با نیرومندی باور داشته باشیم که آن مانعی بوده است که از رسیدن به توضیحی قانع کننده در باره همه نمودهای مشاهده شده جلوگیری کرده است ، و

بالاخره، هر اندازه کار برد تصویری تا معینگیرانه سبب کامیابیهایی حاصل شده باشد، اینکه هرگز نتوانیم ثابت کنیم که باقن مودلی مبتنی بر معینگیری از طبیعت که حق واقعیتها را ادا کند غیر ممکن است، دور از احتمال است.

کوششهای تازه برای دست کشیدن از معینگیری مخصوصاً از این جهت جلب توجه می کند که ادعای آنها نسبت به فقدان معینگیری، به جای آنکه مبهم و نادرست باشد، از لحاظ کمی کاملاً معین و محدود است و با ساینتر و گرم و ثانیه بیان می شود. به عنوان مثال ساده، ممکن است نقطه جرمی در حال حرکت را، خواه به حالت اتروای از نقاط جرمی دیگر یا همچون عضوی از یک دستگاه متشکل از چندین نقطه جرمی در نظر بگیریم که بر روی یکدیگر نیرو تأثیر می دهند. ادعای می شود این است که حرکت آن را به درستی کامل نمی توان پیشگویی کرد، از آن جهت که، از میان چیزهای دیگری که باید دانست، شناختن وضع و سرعت آن در نقطه مبدأ زمان ضرورت دارد؛ و ادعا شده است

که اصولاً تعیین این هر دو با هم به صورت درست غیر ممکن است. فرض کنیم که در اثبات این امر توفیق یافته باشیم که نقطه جرمی به هر صورت باید در داخل پهنه کوچکی جای داشته باشد که ابعاد خطی آن را λ می نامیم. از هر نقطه در داخل این پهنه بیکانی رسم می کنیم و سرعت را مطابق معمول با آن نمایش می دهیم. پس از آن فرض کنیم



شکل ۱

که توانسته باشیم امتداد و مقدار سرعت را چنان پیدا کرده باشیم که بتوانیم نوک پیکان نماینده سرعت را در پهنه کوچکی محدود کنیم که ابعاد خطی آن را با λ نمایش دهیم. بالاخره جرم این نقطه مادی را با m بنماییم. ادعای خاصی که می شود این است که تقریب اندازه حاصل ضرب

$m\gamma\lambda$ را نمی‌توان به باینتتر از حد معینی رسانید. ادعا این است که عدم صحتی را که ذاتی وضع (λ) است، و عدم صحتی را که در همان زمان به (γ) چسبیده است، هر دو را نمی‌توان آن قدر کمتر کرد که تقریب حاصل ضرب $m\gamma\lambda$ از آنچه به نام ثابت پلانک λ خوانده می‌شود و اندازه آن چنین است:

$$h = 6,5 \times 10^{-27} \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$$

کمتر شود. با آنکه اندازه این ثابت بسیار کوچک است، با صحت کامل بر حسب سائیمتر و گرم و ثانیه قابل بیان است؛ از قوانین حاکم بر تشعشع حرارت و از روشهای بسیار دقیق دیگر می‌توان آن را اندازه گرفت. بنا بر این آنچه ادعا می‌شود این است که، در عین آنکه ممکن است یکی از دو ناحیه (λ) و (γ) را هر اندازه که خواسته باشیم کوچک کنیم، و گزارشی را که از آن می‌دهیم تا آن اندازه که خواسته باشیم صحیح در آوریم، این کار تنها به خرج افزایش دیگری صورت می‌گیرد، به عبارت دیگر، غیر ممکن است که هر دو

را با هم هر اندازه بخواهیم کوچک کنیم (رابطه عدم صحت ها یز نبرگ). من نمی‌توانم در اینجا با چند کلمه بیان کنم که این حکم خاص چه گونه به دست آمده است؛ آن را تنها به عنوان مثالی آوردم تا نمونه‌ای عینی از «لامعینگری» را به دست داده باشم. ولی کار به همین تمام نمی‌شود. بنا بر فیزیک رسمی، و با لخاصه مکانیک، برای آنکه یک نقطه مبدأ زمان در محل معینی جا داده شود، و برای آنکه سرعت معینی پیدا کند، لازم است بعضی از اعمال در باره آن اجرا شود. مثلاً باید آن را میان دو شاخه انبری نگاه داریم و به محل مورد نظر ببریم و در امتداد مناسبی بران ضربه‌ای وارد کنیم. مکانیک کوآتومی به ما می‌آموزد که اگر با نقطه جرمی بارهای فراوان چنین علمی را انجام دهیم، همیشه به یک نتیجه نمی‌رسیم، حتی اگر عملی که انجام می‌شود در همه بارها کاملاً به یک نهج صورت گرفته باشد. ولی این را نیز به ما می‌آموزد که نتیجه حاصل شده کاملاً هم تابع شانس و تصادف نیست. آنچه ادعا می‌شود این است که اگر تجربه واحد را میلیون بار تکرار کنیم و بسامد گونه-

های مختلف نتایج ممکن را ثبت کنیم ، در میلیون بار دوم تکرار تجربه نتایج گوناگون با همان بسامد تکرار می شود . البته فرض این است که تجربه ها کاملاً مشابه یکدیگر است .

چنانکه مشاهده می شود ، این ادعا تقریباً نزدیک است به آنچه قانون آزمایش و خطا نامیده می شود و بر اندازه گیریهای کنونی حکومت دارد . آنچه به این حکم نظری اختصاص دارد این امر است که برای صحت مشاهده حدی قطعی وجود دارد ، و آن حد به نوبه خود به وسیله ثابتی از طبیعت معین شده است . تا کنون در همه ملاحظات نظری کاملاً ناخودآگاه چنان فرض می کردیم که علی الاصول مشاهدات را می توان با هر درجه از صحت عملی کرد ؛ به خاطر هیچ کس خطور نمی کرد که ارتباطی دو طرفی ، از نوعی که ذکر شد ، میان صحتهای اندازه گیریهای مختلف (در مثال حاضر وضع و سرعت) واقعاً وجود داشته باشد .

احکام دیگری که فیزیک جدید در تأیید نا معینگیری بیان کرده است ، با آنکه مخصوصاً برای

غیر فیزیکدانان نامفهوم است ، اصولاً از همین نوع است ؛ و بحث در باره آنها به استدلال کنونی ما مددی نمی رساند . اشارات دیگری که باید بکنم در واقع حاشیه هایی است که به این مثال مربوط می شود ، ولی از لحاظ دیگر بسیار کم با یکدیگر پیوستگی دارند . قضاوت نهایی و جامع در باره این موضوعات در زمان حاضر غیر ممکن است .

حاشیه اول مربوط می شود به رابطه میان نظریه جدید و مکانیک رسمی . بنا بر نظریه جدید ، اوضاع و احوال مشابه در آغاز کار به صورت تغییر نا پذیر به نتایج مشابه نمی انجامد ؛ تنها چیزی که به آن می رسد آمارهای مشابه (= بسامدهای نسبی پیشامدهای ممکن گوناگون) است ؛ و در واقع غرض ما از نا معینگیری درست همین است .

اکنون آنچه می خواهم بگویم این است که ، از دیدگاه ساده طبیعی ، مکانیک رسمی خود نیز نا معین است . درست است که مخالف این نظر اظهار می شود ، ولی این فقط نتیجه راه و رسمی است که در طول زمان به آن خو گرفته ایم و بنا بران این نظر مخالف را مسلم فرض

می‌کنیم .

نقطه جرمی را در حرکت تصور کنیم . در لحظه معین آن نقطه جرمی در نقطه خاصی قرار دارد ؛ ما کاملاً با طبیعت و اوضاع و احوال تمام محیط آن آشنایی داریم : مثلاً ، در مورد سنگی که پرتاب شده و در میدانی گرانشی قرار دارد ، همه نیروهایی را که بران تأثیر می‌کنند می‌شناسیم . با این مقدمات ، آیا می‌توانیم به پیروی از مکانیک رسمی بگوییم که حرکت این جسم در لحظه بعدی زمان چگونه خواهد بود ؟ و اگر تجربه مکرر شود و همان جسم را در همان محیط و درست در همان محل بیاییم ، آیا اوضاع و احوال مشابه ابتدایی همیشه مسیر واحدی را در دنبال خواهد داشت ؟

می‌دانیم که چنین نیست ؛ بلکه بر خلاف می‌دانیم که تنها اطلاع از حرکت جسم و نیروهایی که در یک لحظه بران کار می‌کنند ، ما را نسبت به آنچه در لحظه بعدی صورت می‌گیرد ، در کاملترین نادانی قرار می‌دهد . تنها وقتی که بداییم که در لحظه بعدی چه خواهد کرد ، می‌توانیم در باره لحظه « پس از بعدی » و همه لحظات پس

از آن پیشگویی کنیم : چه ، بنا بر مکانیک رسمی ، شایه است که اجسام در یکدیگر تعیین می‌کنند نه سرشما .

مدت زمان درازی لازم بود بگذرد تا این واقعیت مفهوم شود : یونانیان قدیم و ، به گمان من ، مردمان قرون وسطی و دکارت اعتقاد دیگری داشتند . ارسطو بر این عقیده بود که یک جسم مرکزی به اقطار خود حرکت دورانی بکنواخت می‌دهد ، و گالیلئو و نیوتون این مطلب را در یافتند که ، در عین آنکه سرعتهای آنها نامعین مانده بود ، شایه معین بود . اگر پرسیده شود که نقطه جرمی در لحظه بعد چگونه حرکت خواهد کرد ، تنها جوابی که مکانیک رسمی می‌دهد این است که : « نمی‌دانم » ، اگر می‌خواهید بدانید مراقب آن باشید » .

روش خاصی که مکانیک رسمی به وسیله آن از واقعیت مایه درد سرنا معینگیری (یعنی این واقعیت که اوضاع و احوال ابتدایی متساوی نتایج مختلف در پی دارد) اجتناب می‌کند ، عبارت از این است که سرعت اولیه را مندرج در اوضاع و احوال ابتدایی می‌سازد . به

می‌کنیم.

نقطه جرمی را در حرکت تصور کنیم. در لحظه معین آن نقطه جرمی در نقطه خاصی قرار دارد؛ ما کاملاً با طبیعت و اوضاع و احوال تمام محیط آن آشنایی داریم؛ مثلاً، در مورد سنگی که پرتاب شده و در میدانی گرانثی قرار دارد، همه نیروهای را که بر آن تأثیر می‌کنند می‌شناسیم. با این مقدمات، آیا می‌توانیم به پیروی از مکانیک رسمی بگوییم که حرکت این جسم در لحظه بعدی زمان چگونه خواهد بود؟ و اگر تجربه مکرر شود و همان جسم را در همان محیط و درست در همان محل یابیم، آیا اوضاع و احوال مشابه ابتدایی همیشه مسیر واحدی را در دنبال خواهد داشت؟

می‌دانیم که چنین نیست؛ بلکه بر خلاف می‌دانیم که تنها اطلاع از حرکت جسم و نیروهایی که در يك لحظه بر آن کار می‌کنند، ما را نسبت به آنچه در لحظه بعدی صورت می‌گیرد، در کاملترین نادانی قرار می‌دهد. تنها وقتی که بدانیم که در لحظه بعدی چه خواهد کرد، می‌توانیم در باره لحظه «پس از بعدی» و همه لحظات پس

از آن پیشگویی کنیم: چه، بنا بر مکانیک رسمی، شتابها است که اجسام در یکدیگر تعیین می‌کنند نه سرعتها.

مدت زمان درازی لازم بود بگذرد تا این واقعیت مفهوم شود: یونانیان قدیم و، به گمان من، مردمان قرون وسطی و دکارت اعتقاد دیگری داشتند. ارسطو بر این عقیده بود که يك جسم مرکزی به اقطار خود حرکت دورانی یکنواخت می‌دهد، و گالیلئو و نیوتون این مطلب را در یافتند که، درعین آنکه سرعتهای آنها نا معین مانده بود، شتابها معین بود. اگر پرسیده شود که نقطه جرمی در لحظه بعد چگونه حرکت خواهد کرد، تنها جوابی که مکانیک رسمی می‌دهد این است که: «نمی‌دانم» اگر می‌خواهید بدانید مراقب آن باشید.

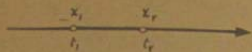
روش خاصی که مکانیک رسمی به وسیله آن از واقعیت مایه درد سرنا معینگری (یعنی این واقعیت که اوضاع و احوال ابتدایی متساوی نتایج مختلف در پی دارد) اجتناب می‌کند، عبارت از این است که سرعت اولیه را مندرج در اوضاع و احوال ابتدایی می‌سازد. به

سادگی می‌گوید که سرعت اولیه باید داده شده باشد، چه بدون آن کاملاً به اوضاع و احوال ابتدایی معرفت پیدا نمی‌کنیم: سرعت اولیه را همچون جزء سازنده‌ای از اوضاع و احوال هر لحظه داده شده به شمار می‌آورند. حال اگر موضوع را به‌دقت مورد مطالعه قرار دهیم، بسیار مشکوک به نظر می‌رسد که چنین روشی مجاز باشد. سرعت را خارج قسمتی دیفرانسیلی نسبت به زمان تعریف می‌کنند:

$$\frac{dx}{dt} = \lim_{t_2 - t_1 \rightarrow 0} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \text{ حد}$$

در این تعریف به دو لحظه از زمان اشاره می‌شود نه به حالت یک لحظه. درست است که این دو لحظه را می‌توانیم آن اندازه به یکدیگر نزدیک بگیریم که در حد «بر یکدیگر منطبق شوند». ولی ممکن است که این نا درست باشد؛ ممکن است که این فرایند ریاضی نزدیک شدن به حد، که مخصوصاً توسط نیوتون برای منظوره‌های مکانیکی اختراع شد، غیر قابل قبول باشد. ممکن است که ابزار ریاضی نیوتون به‌صورتی نادرست بر

طبیعت تطبیق شده باشد؛ و ادعای جدید اینست که مفهوم



شکل ۲

سرعت برای وضع دقیقاً معین و محدود شده در فضا بی‌معنی است، درست متوجه به همین معنی است.

در باره نخستین حاشیه همین اندازه کفایت می‌کند. برای آنکه از هر سوء فهمی اجتناب شود، باید بگویم که شرحی که پیش از این آوردم ملاحظه‌ای است که من به عنوان یک دنباله فکری به نامعینگری برخاسته از نظریه جدید افزوده‌ام. این نیست که نظریه جدید محصول طبیعی برخاسته از موشکافی بسیار نقادانه حساب دیفرانسیلی نیوتون بوده باشد؛ اگر معامله صحیح و کامل با نمودهای مشاهده شده به وسیله مکانیک نیوتونی امکانپذیر بود، هیچ فیزیکی‌دانی نمی‌توانست خطایی در آن پیدا کند.

حاشیه دوم من تا حدی از نوعی دیگر است. در

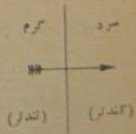
اینجا بیان بعضی از نکته های مقدماتی ضرورت دارد.

شاید بتوانم این را شناخته شده بدانم که حدود پنجاه سال پیش از این معلوم بوده است که شماره زیادی از قوانین به اصطلاح طبیعی قوانین آماری بوده اند که با صحت کامل به اثبات می رسیدند، و این تنها ازان جهت بوده است که شماره افراد موجوداتی که دران قوانین مورد بحث قرار می گرفتند بسیار زیاد بود. مثلاً، فشارگازی را بر دیواره های ظرف آن برابند فشارهای فردی بیشمار می گیرند که از هر خورد مولکولها به دیواره و بر جستن ازان حاصل می شود. انرژی حرکتی يك مولکول تنها را در دمای معین هرگز نمی توان به درستی معین کرد. آنچه معین است اندازه میانگین آن است، در صورتیکه اندازه های فردی بسیار زیاد تغییر می کند (قانون توزیع آنها هم از لحاظ نظری و هم به صورت تجربی، به خوبی شناخته شده است.) جهت هر خورد مولکولها به ظرف کاملاً احتمالی است، و شماره مولکولهایی که در هر واحد زمان به ظرف می خوردند نیز دستخوش تغییر است. با وجود این، اندازه میانگین فشار يك کمیت فیزیکی کاملاً معین

است. تغییرات اتفاقی آن دور از حد صحت تجربی است، البته به آن شرط که سطح جسمی که فشار را می آزمایند، و نیز زمانی که به صورت فیزیکی در «فرایند میانگین گرفتن» مصرف می شود، بسیار کوچک باشد. ولی اگر جسم بسیار کوچک و بسکی در معرض فشار قرار گرفته باشد، این اوضاع و احوال صورتپذیر نمی شود و، چنانکه انتظار می رود، تغییرات احتمالی محض در فشار سبب پیدا شدن حرکتی لرزشی می شود که به نام حرکت براونی نامیده شده است.

ولی نه تنها قوانین حاکم بر تعادل ایستادن ماهیت آماری خود را آشکار ساخته اند، بلکه این خصوصیت، در اغلب حالات، برای سیر بالان پیشامدهای فیزیکی صحت پیدا می کند. اگر بخواهیم خلاصه تر کنیم، باید بگوییم که همه قوانین مربوط به فرایندهای طبیعی انعکاسپذیر را اکنون قطعاً از نوع آماری می شناسند! و این خود اکثریت قوانین را شامل می شود، چه به طور کلی سیر حوادث در طبیعت انعکاسپذیر است. به عنوان مثال از هدایت حرارت در يك گاز سخن می گویم. توزیع

دمای اتفاقی رفته رفته به طریق معین به یکنواختی می انجامد ، و تابع این قانون است که جریان حرارت در امتداد سراسیترین افت دما و متناسب با زینه حرارتی است . برای بیان این مطلب به صورت آماری ، سطحی را در داخل يك گاز تصوّر می کنیم که طرف چپ آن گرم باشد و طرف راست آن نسبت به طرف چپ سرد ؛ به عبارت دیگر ، در طرف چپ این سطح مولکلهایی قرار دارد با حرکت نسبتاً سریعتر و در طرف راست آن مولکولهای با حرکت نسبتاً کندتر . بنا بر حساب احتمالات ، شماره مولکولهای تقریباً مساوی با یکدیگر از چپ بدراست یا از راست به چپ حرکت می کنند . ولی اولیها انرژی بیشتر از دومیها انتقال می دهند ، و نتیجه آن می شود که جریان حرارتی در امتداد زینه صورت گیرد . درجه سختی که این قانون بنا بر آن اجرا می شود نیز موبوط به شماره زیاد



شکل ۳

مولکولهایی است که وارد عمل می شوند . البته ، به صورت نظری ، به آسانی می توان حالاتی را تصوّر کرد که در آنها درست عمل عکس اتفاق بیفتد . برای ساختن چنین حالتی ، فرض می کنیم که پیشرفت به طرف تعادل حرارتی مدّتی از زمان صورت گرفته باشد ، و سپس با نوعی حیلّه ساحرانه همه سرعتهای مختلف درست جهت عکس پیدا کرده باشند : این حیلّه ساحرانه توزیع دما را دست نخورده باقی می گذارد و حالت کاملاً ممکن از دستگاه را ایجاد خواهد کرد . ولی از این حالت ابتدایی به بعد اختلافهای دما از طریق عمل جریانهای حرارتی متقابل با سقوط دما افزایش پیدا می کند تا اینکه بالاخره به مرحله ابتدایی اصلی برسد . خوشبختانه می توان با محاسبه ثابت کرد که چنین پیشامدی به حدّ اعلی غیر محتمل است . از زمان لودویگ بولتزمان این نظر در اکثر قوانین تعیین کننده حوادث در محیط آلی ما مورد انطباق پیدا کرده است . همه بتدلّات شیمیایی ، سرعت فعل و انفعالات شیمیایی و تغییر آنها بر وفق دما ، فرایند های ذوب و تبخیر ، قوانین فشار بخار ، و غیره ، و در واقع همه

چیز شاید به استثنای گرایش، در فرمان قوانینی از این قبیل است، و همه «پیشگویهای» متفرع از این قوانین رنگ آماری دارند و تنها در داخل حدودی صحت دارند، گواينکه این حدود را می توان با صحت کامل معین کرد. در اینجا شباهت چشمگیری به احکام جدید مربوط به «نامعینی» دیده می شود، و جای آن هست که پرسیده شود چرا احکام مشابهی که در آن زمان دورتر صادر شده سبب پیدایش هیجان به درجه هیجان امروز نشده است (گرچه هیجان ملایمی را سبب شده بوده است!) چرا، چهل یا پنجاه سال پیش، هیچ کس نگفته است که فیزیک جدید (جدید به صورت آن زمان) ناچار ازان است که از علیت و معینگری دست برد دارد؟ چرا این گونه مطالب فقط پنج شش سال پیش عنوان شده است؟

جواب این سؤالا آسان است. در آن زمان نفی معینگری می بایستی نفی عملی بوده باشد: امروز چنان فرض می شود که این نفی نفی نظری است. پنجاه سال پیش این امر مورد قبول بود که، اگر وضع و سرعت مولکول هر دو در آغاز شناخته شده باشد، و زحمت محاسبه

درست ریاضی همه بر خورد های مولکولها را بر خود هموار کنند، ممکن است که آنچه را که پیش خواهد آمد به صورت صحیح پیشگویی کنند. معتقد بودند که آنچه ما را ناچار می کند که خود را به قوانین میانگین قانع سازیم، عدم امکان عملی است برای (۱) یافتن درست وضع و حال ابتدایی مولکولها، و (۲) دنبال کردن سر-نوشت مولکولها با صحت ریاضی کامل. هیچ اندیشه ای از این محدود بودن به قوانین آماری به خود راه نمی دادند، چه اندازه های میانگین تمام آن چیزی است که با حواس خام خود قابلیت مشاهده و ملاحظه آنها را پیدا می کنیم؛ بنا بر این آنچه بر مبنای آن قوانین محاسبه می شد، برای پیشگویی مشاهدات ما، با حد صحت و دقت مورد نظر، کفایت می کرد.

خلاصه اینکه: این امر مورد قبول بود که افراد انوم و مولکول تابع معینگری قطعی و صلبی هستند که زمینه ای را برای آن قوانین توده ای آماری می سازد که در عمل و اختبار تنها آنها در دسترس قرار دارند. و اکثریت فیزیکدانان این زمینه معینگرانه را اساسترین شالوده

برای جهان مادی و فیزیکی تصور می‌کردند. دست کشیدن از چنین اعتقادی را يك تناقض منطقی می‌شمردند، و لازم می‌دانستند که چنان فرض شود که در پیشامدهای جزئی، همچون برخورد دو اتم، نتیجه کاملاً و با درستی تمام توسط اوضاع و احوال سابق از پیش معین شده است. می‌گفتند (و هنوز هم می‌گویند) که رسیدن به معرفت درست طبیعت مبتنی بر هر پایه دیگر غیر ممکن است، و اگر چنین کنند پایه‌های دیگر از دست می‌رود، و بدون داشتن زمینه معین‌گرانه نظر ما در باره طبیعت پریشان و ناسامان کامل می‌شود، و این پریشانی با طبیعتی که در اختیار ما گذاشته شده سازگاری ندارد، چه این طبیعت پریشانی و ناسامانی کامل نیست.

ولی این نظر قطعاً خطا است. کاملاً یقینی است که نظر در باره پیشامدهای داخل يك گاز، به سورتی که نظریه حرکتی گازها معین می‌کند، ممکن است به این دلیل تعبیر پیدا کند که مسیر آینده دو مولکول، پس از آنکه به یکدیگر تصادم پیدا کردند، با قانون شناخته شده تصادم معین نمی‌شود، بلکه معین کننده آن قانون خاصی

از تصادف است. تمام آنچه باید بکنیم این است که در نظر داشته باشیم که این قوانین تصادف را که می‌پذیریم باید، با صحتی معقول و متناسب، به بعضی از قوانین «دقت‌داری» (یا به عنوان فنی آن قوانین بقا) توجه داشته باشد؛ مثلاً اینکه مجموع انرژی‌هایش و پس از تصادم باید تقریباً یکی باشد. در این باره، حتی برای مولکولهای فردی،

بسیار چیز به صورت
اختباری به اثبات
رسیده است. ولی،
این قوانین دقت‌داری
نتیجه تصادم را به
صورت غیر مبهم و نا

مشوش معین نمی‌کنند:

شکل ۲

و ممکن است چنان باشد که، علاوه بر آنها، يك امکان «قبلی» حکمفرما بوده باشد. چه این امر درجه عدم قطعیتی، بیش از آنچه قبلاً با نظر معین‌گری وارد نتیجه تصادم می‌شد، دران وارد نمی‌کند. نمی‌دانیم که، مثلاً در



مورد يك تصادم، یکی از مولکولها کمی متمایل به طرف چپ مولکول دیگر می خورد یا متمایل به طرف راست آن، که این خود در نتیجه تصادم بسیار مؤثر است (و البته در قوانین بقا تأثیری ندارد). خواه نتیجه تصادم را معین شده باین «کمی متمایل به چپ یا راست» تصور کنیم یا آن را نامعین شده در نظر بگیریم (که در عین حال «قوانین بقا» دست نخورده باقی می ماند) مسئله چندان تفاوتی پیدا نمی کند.

پنجاء سال پیش از این، معینگری را ترجیح دادن یا نامعینگری را، مسئله ذوق یا پیشداوری فلسفی بود. اولی مورد تأیید عادت قدیمی یا احتمالاً يك اعتقاد قبلی ویش از تجربه بود. در تأیید دومی ممکن بود گفته شود که این عادت قدیمی آشکارا مبتنی بر قوانین فعلی است که می بینیم در محیط ما کار می کنند. ولی، به محض آنکه معلوم شد که اکثریت یا محتملاً همه این قوانین رنگ آماری دارند، دیگر از اینکه بتوانند برهانی عقلی برای حفظ معینگری فراهم کنند، محروم ماندند.

این حاشیه دوم را می توانیم چنین خلاصه کنیم:

مدت درازی پیش از آنکه مکانیک کوآتومی جدید احکام کمی خود را در باره درجه عدم صحت بیان کند، امکان داشت، اگر چه ضروری نبود، که حاشیه معینگری از دیدگاه کلی دورتری مورد شك واقع شود. حقیقت این است که چنین شکهایی در ۱۹۱۸ توسط فراتزاکسبر اقامه شد، و آن تاریخ هشت سال پیش از زمانی بود که هایزبرگ رابطه نامعینی خودش را اظهار داشت. به آن شکها چندان توجهی نشد، و اگر هم کسی مانند من در نطق افتتاحیه درس خود در زوریخ به تأیید آنها برخاست، این تأیید با سر تکان دادنیهای فراوان روبه رو شد.

در باره حاشیه دوم همین اندازه کافی است. چون به حاشیه سوم بپردازیم، به گروهی از ملاحظات می رسیم که کاملاً از نوعی دیگر است.

در آغاز به آن نامعینی باز می گردیم که مکانیک

۱- زیر عنوان «علوم طبیعت» Die Naturwissenschaft در ۱۹۲۹/۹/۱۷ انتشار یافت (تاریخ تعلق ۱۹۲۲). رجوع کنید به فصل VI کتاب حاضر.

کوآتومی از لحاظ مادی بیان کرده است (رجوع کنید به ملاحظات در باره شکل ۱). با کمی تفکر آشکار می شود که آنچه مکابیک کوآتومی از این لحاظ به آن استناد می کند، نقطه مادی به معنی قدیمی این کلمه نیست. نقطه مادی بدان معنی چیزی است که در مکان معین جای گرفته است، خواه این مکان مکتوف باشد یا نباشد. و اگر آن نقطه در لحظه معین مکان معینی داشته باشد، آنگاه یقیناً باید مسیر معین داشته باشد، و نیز همان طور که می توان به هر صورت در نظر اول فرض کرد، ناچار سرعت معینی باید داشته باشد. هر چه پیش آید، مکابیک کوآتومی تصور مسیر کاملاً معین شده را ممنوع می سازد. آن را تنها به عنوان تقریبی با مقیاس بزرگ فرض می کنند؛ درست است که می توانیم حتی از مسیر اتومپا (در اطاق ایرویلسون) عکس برداریم، ولی در مقیاس میکروسکوپی - مثلاً در الکترونهای درون اتم - باید از مفهوم و تصور مسیر دست برداریم. دیگر به مدارهای دایره ای و بیضی شکل در داخل اتم باور نداریم. از الکترونها و پروتونها همچون نقاط مادی سخن گفتن و در عین حال

منکر این شدن که مدارهای معین دارند، هم تناقضآمیز است و هم بی معنی. در این باره که مفهوم نقطه مادی متحمل تغییر عظیمی شده است که هنوز هم به درستی نمی توانیم آن را فهم کنیم، نه باید به مشاجره بپردازیم و نه (چنانکه در بعضی محافل چنین شده) این مطلب را با سکوت ماهرانه ناشنیده فرض کنیم.

از طرف دیگر، خود دیدگاه اتومیکرانه ممکن است سبب حصول فهمی شود با لافل این گمان را برانگیزد که در آن هنگام که با ابعاد بسیار کوچک سروکار داریم مفهوم مدار نباید از میان برود. ولی، برای توضیح این مطلب، باید از نمود شناسی ماده، و از روشی که عملاً نمودها را مشاهده می کنیم، و از وسایلی که به صورت نظری برای این منظور در دسترس است آغاز کنیم.

غرض آن است که بحث خود را با بیان این واقعیت آغاز کنیم که هر مشاهده کمی، یعنی هر مشاهده ای که در آن پای اندازه گیری به میان می آید، بنا بر طبیعت خود، ناپیوسته است.

ساده ترین مثال اندازه گیری طول است. برای این

کار خط‌کشی را به‌کار می‌بریم که تقسیمات میلیتری دارد، و بر حسب مورد اندازه‌های ۲۳ یا ۲۴ یا ۲۵ میلیتر را به دست می‌آوریم؛ اسباب اندازه‌گیری اندازه‌های حیانه این اندازه‌ها را به ما نشان نمی‌دهد. ولی، ممکن است توانایی آن را داشته باشیم که یک دهم میلیتر را تخمین بزنیم، یا وریه‌ای در دسترس ما باشد که مثلاً اندازه‌های ۲۳٫۶ یا ۲۳٫۷ یا ۲۳٫۸ را برای ما معین کند؛ بار دیگر به جایی می‌رسیم که نمی‌توانیم فواصل متوسط را اندازه بگیریم؛ با تمرین ممکن است چنان شده باشیم که نیمه هر یک از تقسیمات وریه را به حدس تشخیص بدهیم؛ ولی در آن هنگام تنها چیزی که به دست می‌آید یک رشته ارقام است با فواصلی در میان آنها - ۲۳٫۶، ۲۳٫۶۵، ۲۳٫۷، ۲۳٫۷۵، و غیره. و هر اندازه در جستجوی صحت و دقت بیشتر برویم، هرگز چیزی جز یک رشته محدود از نتایج جدا از یکدیگر به دست نمی‌آوریم که از پیش و به صورت قبلی با ماهیت و طبیعت اسباب اندازه‌گیری معین شده‌اند.

اصولاً برای هر اندازه‌گیری نیز چنین است؛ هر

اندازه‌گیری پریشی است که از طبیعت می‌شود، و این ما هستیم که از پیش عدد معدودی جواب را ردیف کرده‌ایم، در صورتی که طبیعت همیشه در وضع کسی است که رأی خود را با قرعه می‌دهد، با این اختلاف که در بیشتر حالات طبیعت دو مهره سفید و سیاه در اختیار ندارد، بلکه مهره‌های سبز و زرد نیز در اختیار او هست؛ ممکن است شماره ۲۰ باشد یا حتی ۱۰۰۰۰؛ ولی همیشه عدد معدودی است. طبیعت هرگز در وضع انسانی نیست که مشغول پر کردن ورقه رأی خویش است و بر روی آن هر چه را بخواهد می‌نویسد.

مثال اندازه‌گیری طول ممکن است حقیر جلوه‌گر شود؛ ولی اگر همین امر را در استعمال عام آن در نظر بگیریم، باید این را بپذیریم که روشی که با آن معرفت کسی در باره طبیعت پیدا می‌کنیم (یعنی تنها روشی که با آن می‌توانیم این معرفت را به دست آوریم) از این هم ابتدائتر است. نتیجه بیشتر به ترتیبی بسته است که با آن ترتیب سؤالات خود را طرح می‌کنیم. اگر بخواهیم ۱- واضح است که (تماس) ما با طبیعت نسبتاً مست است؛ یا

می‌توانیم سؤالات را به صورت رشته‌ای درآوریم که، مانند بعضی از بازیهای اطفاقی، جواب آنها تنها آری یا نه باشد. نتیجه آن می‌شود که ماده خام شناسایی کمّی ما از طبیعت همیشه خاصیت ابتدایی و ناپیوسته دارد. متمایل به آن هستیم که به چنین شناسایی قانع باشیم و از پیش خود آن را کامل می‌کنیم. کوهک اصلی ما در این کار عمل دروئیایی است. اگر خط‌کش اندازه‌گیری ما چنان باشد که کمتر از یک میلیمتر را نخواند، یا ساعت ما کمتر از یک پنجم ثانیه را نشان ندهد، این عمل را، به حق، کمایش فرعی از اندازه‌گیری تصور می‌کنیم. فرض کنید که خواهیم از این طریق مسیر سنگ پرتاب شده‌ای را معین کنیم که مختصات آن را بر حسب میلیمتر در هر یک پنجم ثانیه بدست آورده‌ایم. نقاط متوسط را دروئیایی می‌کنیم و از این راه به تصور مسیری پیوسته می‌رسیم، و

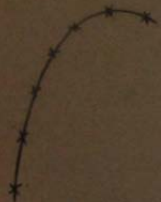
وجود این بهترین شکل قابل دسترس این تماس به صورت وجودی است که، برای نبودن کلمه مناسبتر، می‌توان آن را «زمان حال» خواند (گرچه اگر صورتهای دیگر وجود هم باشد، مفهوم زمان محتملاً مشترک میان همه آنها نخواهد بود).

این مسیری است که به خودی خود موضوع مشاهده کمّی نبوده است.

آیا چه حقی داریم که به چنین دروئیایی دست یزیم؟ آنچه به ما حق می‌دهد این واقعیت است که می‌توانیم از روش دیگر اندازه‌گیری استفاده کنیم و می‌توانیم وضع

سنگ را در هر مرحله متوسط با بزرگترین صحت مشاهده کنیم.

سؤالی که اکنون پیش می‌آید این است که آیا این روش دروئیایی واقعاً درست است: باید این را بررسی کنیم که آیا در حق مفهوم مسیر پیوسته - که نسبت به این روش متأخر است - اگر چنان باور داشته باشیم که به فاصله‌ها و پاره‌های زمانی هر اندازه کوچک ناگزیر قابل تطبیق است، گرافکاری نکرده‌ایم. دروئیایی آنجا موجّه است که حق داشته باشیم فرض کنیم که اندازه‌گیری‌هایی که



شکل ۵

در عده‌ای از نقاط متوسط صورت گرفته، قابل آن است که بنا بر اصل صورت بگیرد؛ و چون حال چنین باشد، درونمایی همیشه معنایی دارد و همیشه موجه است. حال اگر بحث ما در باره حرکت الکترونی در درون اتم باشد، در این امر بسیار شک است که اندازه‌گیریهایی در امتداد مدار آن، حتی بنا بر اصل، قابل انجام گرفتن باشد، و از آن اندازه‌گیریهای چنان مختصاتی زمانی و مکانی صحیح و کافی به دست آید که بنا بر آنها بتوانیم لااقل شکل اجمالی مدار را با درونمایی رسم کنیم. برای چنین منظوری لازم است که خطکش ما از «ماورای ماده» و نه از اتمها و مولکولهای متعارفی ساخته شده باشد. اینها بسیار در شترافازند که به آن کار بخورند. به ساعتیایی نیازمندیم که در زمان هر دوره گردش الکترون ده یا بیست بار صدا کنند؛ و اینکه چنین اسبابهای اندازه‌گیری در دسترس ما نیست، امری است که نه به فروغ بلکه به سیمای اصلی جهان فیزیکی بستگی دارد.

بنا بر این، هر وقت که از چنین مسیرها سخن می‌گوییم، نباید این امر را فراموش کنیم که آنها در ماورای

مدارهایی هستند که می‌توان آنها را مشاهده کرد، و نیز باید در نظر داشته باشیم که مسیرهای مشاهده شده با ملاحظات و مشاهدات خیالی کامل شده‌اند، و یقینی است که از راه حقیقت و واقعیت نمی‌توان به آنها رسید. من نمی‌خواهم چندان دور بروم که بگویم هر کوششی در این جهت مستلزم تناقضی است و ناگزیر به دشواریهایی می‌انجامد؛ در نخستین وهله، به هر صورت، ممکن است کامل کردن تصویری را که طبیعت معرفی می‌کند، به وسیله اندازه‌گیریهایی با ساعت و اسبابهای با صحت مناسب مجاز شمرد، حتی اگر واقعاً ساعت و اسبابی وجود نداشته باشد؛ چه ما ناچاریم که مشاهدات خود را تکمیل کنیم تا چنان نباشد که، به جای رسیدن به نوعی از «تصویر جهان» (Weltbild) تنها چهل تکه‌ای از واقعیتهای مفرد در برابر خود داشته باشیم. و نیز، بعضی از مکملهایی که از ساختن آنها ناگزیریم، از نوعی است که اصولاً به واقعیتهای غیر قابل مشاهده مربوط است. شاید بتوانیم این واقعیت ساده را که، با وجود دو بعدی بودن تصویر روی شبکیه چشم، به سه بعدی بودن اشیاء اعتقاد داریم،

یکی از چنین واقعیتها به شمار آوریم؛ ما باور داریم که هر دو جبهه طاق مرمر (ماربل آرج) هاید پارک لندن در آن واحد وجود دارد، در صورتیکه در يك لحظه تنها یا این جبهه را می بینیم یا آن جبهه را.

هر چه باشد، در حالت حاضر این امکان باقی می ماند که مکملهایی که به عنوان دروئیایی وارد می کنیم، خطایی است، و تنها کارش این است که اندیشه ما را درباره طبیعت متوش کند. برای آنکه از سوء فهم جلوگیری شود، باید بگویم که مقصود من امکان نسبتاً ساده این اشتباه نیست که در شکل مدار حاصل می شود، و مثلاً بیضی را دایره یا منحنی پیچیده تری را بیضی تصور می کنیم. این امکان از لحاظ فلسفی به هیچ وجه جلب توجه نمی کند. غرض من این امکان است که خود اندیشه وضع و مسیر ممکن است، در آن صورت که منظور ابعاد بسیار بسیار کوچک زمانی و مکانی باشد، غیر قابل انطباق باشد. وضع کنونی علم فیزیک چنین است: آینده نشان خواهد داد که درست است یا نادرست.

چنان دوست دارم که در پایان بحث به مسئله اصلی

معینگری متقابل با نامعینگری باز کردم. سؤال این بود که اگر نسبت به حالت يك دستگاه معرفت کامل داشته باشیم، آیا امکان آن هست که از رفتار آینده آن به درستی و بدون ابهام پیشگویی کنیم یا نه. آیا طبیعت از آن نوع است که این عمل، اگر هم عملاً نتوانیم معلومات لازم را به دست آوریم، لاف از لحاظ نظری صحت داشته باشد؟

حال مسئله را از دیدگاه نمود شناختی، که بیشتر به آن اشاره کردیم، مورد بحث قرار می دهیم. از این دیدگاه، شماره جوابهای ممکن هر پرسشی که به طبیعت عرضه شده باید محدود باشد: در واقع به اطمینان می توانیم بگویم که دو جواب آری یا نه وجود دارد. اگر شماره بیشتر باشد، می توانیم آنها را به يك رشته از پرسشهای متوالی تجزیه کنیم. در عمل از اوضاع و احوال يك دستگاه در لحظه معین تنها به وسیله عددهای از مشاهدات فردی می توانیم اطلاع حاصل کنیم: بنا بر اصل هر روش دیگری غیر ممکن است. و اگر تنها عدد معدودی از مشاهدات انجام گرفته باشد، اطلاع ما

در باره حالت ابتدایی عبارت خواهد بود از يك رشته آری
یا نه . در نوشتن این رشته ممکن است به صورت توالی
صفر (۰) ها و يك (۱) ها نمایش داده شود .
۰۰۱۰۱۱۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰۱۱۰۱۰۰۰۰۱

ممکن است که دستگاهی فیزیکی چندان ساده باشد
که این اطلاع کوچک برای تعیین سرنوشت آن کفایت
کند . در آن حالت طبیعت پیچیده تر از يك بازی شطرنج
نیست . برای تعیین وضع در بازی شطرنج ، شناختن سی و
سه واقعیت کفایت می کند . اگر بدانم که هر مهره کجا
است یا کشته شده ، و بدانم که نوبت بازی با کیست ،
آنگاه از وضع بازی آگاهم ، و يك بازیکن بسیار ماهر
می تواند به صورت قطعی بگوید که سفید ممکن است با
بازی درست ببرد یا ، اینکه ممکن است پات شود ، یا اگر
سیاه درست بازی کند سفید خواهد باخت .

اگر طبیعت پیچیده تر از بازی شطرنج باشد ، که
آدمی متعایل به قبول این امر است ، آنگاه باید گفت که
تعیین حالت يك دستگاه فیزیکی با عدد معدودی از
مشاهدات میسر نخواهد بود . ولی در عمل تنها کاری که

از ما ساخته است انجام دادن همین مشاهدات معدود است .
تنها چیزی که برای معینگی باقی می ماند ، باور کردن
این امر است که تجمع نامعدود مشاهدات ، بنا بر اصل ،
شایستگی آن را می دهد که کاملاً حالت دستگاه را معین
کنیم . ایستگاه و دیدگاه فیزیک رسمی چنین بوده است ،
و البته بعدها حق خواهد داشت که بیند با آن چه
می تواند بکند . ولی نظرگاه مقابل نیز حقی برانر این
حق دارد : مجبور نیستیم این امر را بپذیریم که عدد
بیشماری از مشاهدات ، که به هر صورت در عمل انجام
دادن آنها میسر نیست ، بتواند برای به دست دادن تعیین
کامل کفایت کند .

این است جهتی که فیزیک جدید ما را به آن
کشانیده است ، بی آنکه واقعاً قصد این کار را داشته
باشد .

پیش از آنکه مستقیماً به این پرسش پاسخ داده شود، لازم است تمایزی میان دو گروه از علوم قابل شرح از یک طرف علمی که آنها را علوم صحیح می‌نامیم، و از طرف دیگر علوم که به روان انسانی و فعالیت‌های آن مربوط می‌شود. از این دسته دوم است علمی همچون تاریخ و جامعه‌شناسی و روانشناسی و غیره.

کمان می‌کنم این مطلب واضح باشد که حقایق که این علوم انسانی جلوه‌گر می‌سازند نمی‌توانند ادعای عبثیت کامل داشته باشند. تاریخ را مثال می‌زنیم. با آنکه از مورخ می‌خواهیم که هنگام بحث از پیشامدها به حقیقت عینی آنها توجه داشته باشد، اگر بخواهد که چیزی بیش از واقعه تکرار باشد، اثر او باید چیزی بیش از اکتشاف و شرح واقعیه‌های برهنه بوده باشد. بنا بر این، انتخابی که وی از مواد خام موجود در دسترس خود می‌کند، و سورت‌یابی خاصی که به آنها می‌دهد، لزوماً از تمام شخصیت وی متأثر خواهد شد. و ما با کمال مسرت نفوذ شخصی مورخ را در مواد وی که با آنها کار می‌کند، می‌بخشیم. البته بدان شرط که در این نفوذ اثری از یک

IV

آیا علم مد زمانه است

جمله‌ای از زولا معروف است بدین مضمون که هنر طبیعت است که به میانجیگری مزاج دیده شده است *L'art c'est la nature vue au travers d'un tempérament*. آیا در باره علم هم می‌توان چنین گفت؟ این سوال اهمیت دارد، چه بر ادعایی اساسی که این روزها به نام علم می‌شود اثر می‌گذارد. بر خلاف نقاشی و ادبیات و موسیقی، که راه‌های شخصی دریافت حقیقت هستند، و بنا بر این با تعبیر محیط فرهنگی در معرض تغییر واقع می‌شوند، چنان گفته می‌شود که علم ما را با مجموعه‌ای از حقایق آشنا می‌کند که با مزاج آدمی قابل‌بریزی نمی‌شود، و بنا بر این عینی و پایدار است. آیا این سخن تا چه اندازه سحت دارد؟

شخصیت نیرومند را مشاهده کنیم که از پیشامدهای عریان تاریخ نمونه انسانی بسیار جالبی برای ما پرداخته باشد . و در واقع تاریخ علمی از همین جا آغاز می شود ، در صورتی که به کار یک واقعه نگار با وجدان فقط همچون کار کسی می نگریم که برای مورخ مواد خام فراهم می آورد .

در باره علوم دیگری که بازندگی و رفتار آدمی سر و کار دارند ، نیز نظر مشابهی می توان اظهار کرد . در همه اینها نسايش حقایق لزوماً تأثیر فعال مزاج آدمی را آشکار می سازد . البته همیشه کمال مطلوب آن است که هر چه بیشتر در روش کار این علوم جنبه عینیّت در نظر گرفته شود ، و بر حسب آنکه کتابی که در یکی از شاخه های این علوم نوشته شده ، به کمال مطلوب عینی نزدیک یا از آن دور باشد ، آن کتاب را علمی یا غیر علمی می دانند . یکی از این علوم انسانی نیست که عنصری هنری در آن نبوده باشد ، و از آن لحاظ که چنین هستند ، توصیف نولا در باره آنها صدق می کند . موضوعی که با آن سر و کار دارند ، همیشه از پشت مزاجی دیده می شود .

اکنون به علوم صحیح توجه می کنیم . بنابر اصل ، هر

چیز شخصی را از روشی که در این علوم پیروی می شود طرد می کنند . علم فیزیک اساساً از این گروه است . در همه پژوهشهای فیزیکی از نفوذ شخصی پژوهنده به شدت جلوگیری می شود تا چنان باشد که تنها به حقیقت عینی در باره طبیعت بیجان برسند . یک بار که این حقیقت به صورت نیایی بیان و توصیف شده ، هر کس در هر جای زمین می تواند آن را بیازماید و همیشه به یک نتیجه برسد ؛ بدین ترتیب فیزیک کاملاً از مزاج آدمی استقلال دارد ، و این بزرگترین مدعای فیزیک برای پذیرفته شدن است . بعضی از فهرمانان علم فیزیک چندان در این باره بیش می روند که می گویند نه تنها در احکام پژوهشهای فیزیکی ذهن و عقل فردی آدمی باید کنار گذاشته شود ، بلکه سیمای آدمی به عنوان یک کل بایستی وارد کار نشود . از هر درجه از سانسکلیکری به سخنی جلوگیری می شود ؛ و امر چنان است که ، لافل در این شاخه از علم ، آن چنان که سوفسطاییان یونان معتقد بودند ، دیگر انسان معیار و اندازه همه چیزها نیست .

آیا این ادعا کاملاً درست است ؟ به درجه ای بالاتر

از آنکه در علمهای دیگر صحت دارد درست است. به آسانی
تصدیق می‌کنیم که یک تجربه فیزیکی، مثلاً شمردن
ستارگان، از این امر استقلال دارد که شمارنده آن آقای
ویلسون در نیویورک باشد یا خانم هوثر در برلن. نتیجه
همیشه یکی خواهد بود، البته بدان شرط که مقتضیات فنی
لازم صورت گرفته باشد.

در باره همه تجربه‌های مستقر شده فیزیک نیز این امر
صحت دارد. نخستین شرط لازمی که از فرایند هر تجربه
پیش از پذیرفتن آن در روشهای پژوهش فیزیکی
می‌خواهیم، این است که پیوسته و به صورتی تغییر ناپذیر
به یک دسته از نتایج برسد. یک تجربه را قابل ملاحظه
علمی و قابل پذیرش نمی‌دانیم مگر آنکه واجد چنین شرطی
باشد. تمام نسج علم فیزیک از تنوده عظیم نتایج انفرادی
باقیه شده که از چنین تجربه‌های قابل تکرار به دست آمده
است. و همین نتایج رسمی تنها ماده خامی است که
استعمال آن برای گسترش بیشتر حقیقت علمی مجاز شناخته
می‌شود. بنابراین، از آنجا که از منبع معرفت دیگری
جز تجربه صحیح استفاده نمی‌شود، در نظر اوّل چنان

می‌نماید که علم فیزیک کاملاً حق دارد مدعی شود که
حامل درست حقیقت مطلق عینی است. ولی برای انقضای
این ادعا ملاحظات دیگری باید در نظر گرفته شود.
معلومات بنا داده‌های قابل قبول علم فیزیک همیشه و
انحصاراً آنها هستند که از طریق تجربه به دست آمده‌اند.
چون شماره تجربه‌هایی را که مایه پیدایش این داده‌ها
بوده‌اند و ساختمان فیزیک بر آنها بنا شده در نظر بگیریم.
خواهیم دید که این شماره بسیار بزرگ است. ولی اگر
این شماره را با شماره تجربه‌هایی که قابل عملی شدن بوده
و هرگز چنین نشده است مقایسه کنیم، خواهیم دید که
بسیار کوچک است. بنابراین در انتخاب ماده خامی که
ساختمان علم بر آن بنا شده، یک گزینش و دستچینی صورت
گرفته است. این گزینش ناچار در تحت تأثیر عواملی بوده
است که علمی محض نبوده‌اند. به همین جهت است که
علم فیزیک نمی‌تواند مدعی آن شود که مطلقاً نسبت به محیط
خود استقلال دارد.

اکنون بعضی از عواملی را مورد نظر قرار می‌دهیم
که چون بنای پژوهشی در جهت تلازمی باشد و تجربه‌هایی

به عنوان امکانات خود را عرضه کنند، در گزینش شخصی تجربه‌کننده مؤثر می‌شوند. آشکار است که اولین و مهمترین عامل این است که با اوضاع و احوال موجود چه تجربه‌هایی قابل عمل است. برای بعضی از تجربه‌ها اسبابهای مفصل و گرانمایی ضرورت دارد، و همیشه وسیله فراهم کردن آنها در دست نیست. هر اندازه که این گونه تجربه‌ها امیدوارکننده باشند، به‌علت هزینه زیادی که برای عملی کردن آنها ضرورت دارد، از آنها صرف نظر می‌کنند.

دسته دیگر از تجربه‌ها را به علتهای کاملاً مخالف و شخصیت‌کنار می‌گذارند. این تجربه‌ها خود را به فکر دانشمند عرضه می‌کنند، ولی وی آنها را برای زمانی که در آن است جالب توجه نمی‌داند، و این تنها برای آن نیست که با آنچه در دست آزمایش است ارتباط مستقیم ندارند، بلکه نیز بدان جهت است که چنان می‌پندارد که از نتایجی که از آنها حاصل می‌شود پیشاپیش با خبر است. و حتی اگر چنان احساس کند که از پیشینی درست نتایج نتوان است، ممکن است اهمیت آنها را در زمانی که

در آن است از درجه دوم بداند و به همین جهت از آنها غافل شود. از این گذشته، این ملاحظه نیز هست که اگر وی بخواهد همه این نتایج را در نظر بگیرد، نمی‌داند که با شماره فراوان آنها چه کند. براین باید افزود که ذهن ما از لحاظ علاقه مندی به چیزهای گوناگون، دامنه نامحدود ندارد. بعضی از چیزها هستند که در زمان حال ما را به خود جذب می‌کند. نتیجه آن می‌شود که همیشه شماره فراوانی از تجربه‌های قابل انتخاب - و بسیاری از تجربه‌های سلی نیز - وجود دارد که اصلاً به فکر آنها نمی‌افزیم، و دلیل این امر تنها آن است که توجه ما به طرف جهات دیگر جلب شده است.

همه اینها به این نتیجه ناگزیری می‌انجامد که ما نمی‌توانیم، هنگام تعیین خط مشی علمی خود و انتخاب جهت خاصی برای پیشرفتهای آینده، در را به روی همه عوامل شخصی و ذهنی ببندیم.

شک نیست که هر پیشرفتی که برای ما حاصل می‌شود، مستقیماً مربوط به داده‌هایی است که در اختیار خویش داریم. و آن داده‌ها نتایجی است که از پژوهشهای سابق

به دست آمده است. این نتایج محصول گرایشهای است که بیشتر سورت گرفته است. آن گرایشها وابسته به بعضی از گرایشهای فکری بوده است که در زمان خود بر روی توده دادهای فکری در دسترس آن زمان اثر می کرده است. و چون از میان يك سلسله مراحل پیشرفت علم به فقیرا باز گردیم، در پایان کار به نخستین کوشش انسان ابتدایی می رسیم که برای فهم پشامدهای مشهود در جهان اطراف خوش و ساختن تصویری منطقی از آن به نخستین تلاش آگاهانه پرداخته بوده است.

این مشاهدات نخستین انسان ابتدایی از هیچ الگوی فکری برخاسته است که آگاهانه ساخته شده باشد. تصویر طبیعی که انسان ابتدایی برای خود می ساخت، خود به خود از اوضاع و احوال محیط بر می خاست که در تعیین آنها وضع زیستناختی و ضرورت نگاهداری بدن در داخل محیط و عمل متقابل زندگی جسمانی و دگرگونیهای آن از يك طرف و محیط طبیعی از طرف دیگر دخالت داشت. از آن جهت به این نکته اشاره کردم که جواب این اعتراض را داده باشم که می گویند از همان آغاز کار يك عامل لازم

و اجباری را می توان برای تفوق مطلق واقعیشای غیبی قایل شد. این سخن یقیناً درست نیست، و آغاز علم بدون هیچ شکستی ضرورت انسانشکلیگری تلاش آدمی برای زندگی بوده است.

غالباً چنان پیش می آید که اندیشه یا گروهی از اندیشه ها، در يك لحظه بحرانی غالب می شود و جنبه حیاتی پیدا می کند، و به بعضی از تجربه هایی که تا آن زمان غیر جالب و بی اهمیت تلقی می شد، معنی و مفهوم خاصی می بخشد. مثلاً، سی سال پیش از این، هیچ کس در این اندیشه نبود که چگونه ظرفیت حرارتی يك جسم با دما تغییر می کند، و به ندرت کسی این رؤیا را در سر می پروراند که به واکنش ظرفیت حرارتی در برابر درجات پست حرارت اهمیت می دهد. احتمال دارد که يك بیمار فکری، خالی از هر اندیشه ای، به این موضوع علاقه پیدا کرده باشد. و شاید مرد نابغه ای هم بوده است. ولی به محض آنکه رنست «قانون سوم ترمودینامیک» مشهور خود را پیشنهاد کرد، وضع به صورتی ناگهانی دگرگون شد. فنیته رنست نه تنها این پیشگویی شکست انگیز را که ظرفیت

حرارتی همه اجسام در دمای پست به طرف صفر نزدیک می شود آشکار ساخت، بلکه این مطلب را نیز ثابت کرد که، اگر حرارت فعل و انفعال در دمای معین شناخته شده باشد، و نیز ظرفیت حرارتی اجسامی که در یکدیگر فعل و انفعال می کنند تا دماهای به اندازه کافی پست معین باشد، همه تعادلهای شیمیایی را می توان از پیش حساب کرد.

امری شبیه به این در مورد آنچه ثابتهای کشسانی امید می شود، پیش آمده است. فیزیکدان سابق بر این از اهمیت ارزش عددی این ثابتها غافل بود و بحث دران را به مهندس عملی و پلساز و لرزه شناس وا می گذاشت. ولی چون اینشتین، و پس از وی دبای، نظریه کلتی پایین آمدن ظرفیت حرارتی اجسام را در زمینه های پست دما پیشنهاد کردند، که به وسیله آن ثابت شد که دمای که دران تنزل ظرفیت حرارتی آشکار می شود بستگی به خواص کشسانی ماده مورد بحث دارد، این ارتباط کاملاً تازه و دور از انتظار توجه جدیدی را برانگیخت که به تجربه های پژوهشی وسیعی در این زمینه انجامید و، مثلاً، دامنه آن

به بلور ها در جهات مختلف بلور شناختی و غیره کشانده شد.

مثال دیگری که تقریباً همچون نمونه يك غفلت تأسف انگیز جلوه گر می شود، تجربه درپراش نور است که بوسیله گریمالدی (۱۶۶۳ - ۱۶۱۳) صورت گرفت. این دانشمند ایتالیایی کشف کرد که سایه يك سیم که بر سر راه دسته شعاعی قرار گرفته باشد که از نور منبع دوری پس از گذشتن از شکاف باریکی حاصل می شود، بدان صورت نیست که انتظار می رود چنان باشد؛ بدین معنی که این سایه بصورت نوار تاریک و ساده ای نیست که در زمینه روشنی قرار گرفته باشد. نوار تاریک حالت پیچیده ای دارد. این نوار را سه حاشیه رنگین احاطه می کند که هرچه به طرف خارج برویم عرض حاشیه ها کمتر می شود، در صورتی که در قسمت میانی سایه شماره فردی از خطوط کم رنگ موازی با کنارهای سایه به نظر می رسد. این تجربه، که مدت درازی پیش از آن صورت گرفت که نظریه موجی هویگنس و نظریه ذره ای نور نیوتون پیشنهاد شده باشد، نخستین تجربه از نوع آن گونه تجارب است که

و به همین جهت توجّه کلی به راه دیگری جلب شد.
 در این راه تجربه های جالب دیگری صورت گرفت که اهمیت
 عملی داشت و به نتایج عملی صحیح انجامید، از قبیل قوانین
 انعکاس و انکسار نور و موارد استعمال آنها در ساختن اسباب
 های بصری و نوری. امروز حق نداریم بگوییم نظریه ذرات
 نیوتون غلط بوده است، گو اینکه مدت درازی رسم بر این
 بوده که چنین اظهار نظری بشود. استنتاجات اخیر علم جدید
 نه نظریه ذرات را تأیید می کند و نه نظریه موجی را. بنا
 بر استنباطات علم جدید، این دو نظریه دو سیمای مختلف
 نمودار در روشنی قرار می دهد، و تا زمان حاضر نتوانسته ایم
 این دو سیم را به حالت هماهنگی با یکدیگر در آوریم.
 توجّهی که در مدت درازی به یک طرف این مسئله معطوف
 می شد، به صورت مطلق از هر توجّه که ممکن بود به طرف
 دیگر بشود جلوگیری کرد. ارثست ماخ با توجّه به تاریخ
 پژوهش تجربی در ماهیت نور، و نظریه های گوناگونی که
 در زمانهای مختلف از این پژوهش پیدا شده، به شکستی
 افتاده و گفته است: «تکامل علم، در طریق منطقی و منظم،
 چه کند صورت می گیرد!» حالت مشابهه - و بهتر است

آشکارا و قطعی نشان داده است که شعاعهای نور دقیقاً در
 امتداد خط مستقیم عبور نمی کنند، و انحراف آنها از خط
 مستقیم بستگی نزدیک باریک یا، به اصطلاح امروزی، با طول
 موج دارد. در زمان ما این مطلب، نه تنها برای فهم انتشار نور،
 بلکه در تصویر کشی علمی که از جهان فیزیکی می سازیم،
 یک واقعیت اساسی است. اگر بخواهیم اهمیت تجربه
 گریمالدی را با اصطلاحات معاصر بیان کنیم، باید بگوییم که وی
 نخستین کسی است که آن نامعینی در مکانیک کوانتومی را
 به اثبات رسانید که هاینریش در ۱۹۲۷ آن را صورت بندی
 کرد. تا زمان یانگ و فریل، مشاهدات گریمالدی توجّه
 کسی را جلب نکرد و هیچ کس اهمیت چندانی به آن
 نداد. به آنها همچون نمودهای نظری می کردند که به همان
 صورت قیامده ای برای علم ندارد و در مدت صد و پنجاه
 سال پس از آن تجربه های مشابهی صورت نگرفت، در
 صورتی که ممکن بود چنان تجربه هایی با مواد آسانتر و
 ارزاتر عملی شود. دلیل این امر آن بود که، از دو نظریه
 درباره نور که کمی پس از آن پیشنهاد شد، نظریه ذرات ای
 نیوتون بیش از نظریه موجی هوگنس قبول عام پیدا کرد.

بگویم معکوس - در مورد نظریه های مربوط به ساختمان ماده پیش آمده است . در مورد ماده ، نظریه زده ای تا این اواخر حاکم مطلق بود ، از این جهت که عملی کردن تجربه هایی در تأیید ماهیت موجی ماده بسیار دشوار تر از عملی کردن تجربه های مربوط به نور بوده است .

به تبعیت از کیرشوف ، به این عادت کرده ایم که علم را در آخر کار چیزی جز وصف دقیق و آگاهانه آنچه از راه حواس دریافت شده است ندانیم . کلام این دانشمند برجسته نظریه ساز را غالباً به عنوان آزریری برای کسانی تلقی می کنند که به کار ساختن نظریه ها اشتغال دارند . از لحاظ معرفتشناختی ، این سخن بی شك محتوی مقدار زیادی از حقیقت است ، ولی با روانشناسی پژوهش توافق ندارد . باور کردن این امر مبنی بر اشتباه است که بگویم امروز قوانین کمی کشف شده در ضمن پژوهش را ، به همان صورت که هستند واقعیت تصور کنیم ، کسی راغب آن می شود که نوعی دل بستگی به این قوانین پیدا کند ، مثلاً اینکه فشار بعضی از ترکیبات آلی یا گرمای ویژه عناصر از این راه با اندازه واصله به درجه حرارت است . علاقه ما

به تجسس و تحقیق از این قبیل به جهت توجه قبلی به نتیجه ای است که می خواهیم به آن دسترس پیدا کنیم . و این امرچندان اهمیتی ندارد که این توجه قبلی ، یا خط تفکر ، پیش از آن به شکل يك نظریه معین و پرورده شده وجود داشته باشد ، یا اینکه هنوز در مرحله جنینی و تنها به صورت برق مبهمی باشد که در مغز نابغه ای در ضمن پژوهش تجربی جسته است .

صحت روانشناختی آنچه گفتیم ، هنگامی آشکار می شود که با دشواری توضیح دادن این مطلب برای يك شخص غیر وارد در موضوع بحث علمی روبه رو می شویم که چرا کسی به این تحقیق یا آن تحقیق دست زده است . مقصودم از شخص غیر وارد کسی نیست که تواند فکر خود را به ملاحظه چیز های غیر عملی مشغول دارد ، خواه از آن جهت باشد که به آنها علاقه ای ندارد ، و خواه از آن جهت که مسائل زندگی روزانه فرصتی برای پرداختن به آن گونه امور برایش باقی نمی گذارد . معنایی که از این تعبیر غیر وارد در نظر دارم از این هم وسیعتر است . در دایره انجمن دانشمندان که نمایندگان شاخه های گوناگون علم و ادب برای پژوهش

دسته جمعی گرد آمده اند، هر روز کسی متوجه می شود که خودش به لحاظی که در فوق ذکر شد غیر وارد است. هر يك از اعضای چنین انجمنی درست به همین معنی خود را غیر وارد یا بیسواد در موضوع تصور می کند. چه پس از حضور در جلسه سخنرانی یکی از همکارانش غالباً در جلسه سخنرانی نمی تواند از پرسیدن این سؤال از خود جلوگیری کند: تو را به خدا این چه بود که این آقای ناطق این همه در باره آن داد سخن داد؟ و البته از روی بدخواهی نیست که برای آن شخص چنین وضعی پیش می آید. ولی این به خوبی نکته ای را که در صدد بیان آن هستم مجسم می سازد، و آن این است که برای آنکه کسی بتواند اهمیت فراوان بعضی - یا بی اهمیتی بعضی دیگر - از سوالات بشمارای را که از طبیعت می شود فهم کند، لازم است که تمایلات خاصی به این کار داشته باشد. در مثالی که پیش از این گذشت (و بهتر است فرض کنیم که خود شما سخنران بوده باشید) ممکن است همکاری نزد شما بیاید و بگوید: «بین» چرا فلان مطلب خاص مورد توجه شما قرار گرفته است. برای من هیچ این مطلب اهمیت ندارد که...

غیر» آنکه شما میکوشید تا مطلب را برای او توضیح دهید. می کوشید تا همه پیوند هایی را که موضوع بحث شما با موضوع های دیگر دارد برای او بیان کنید. تلاش می کنید که از علاقه خودتان به موضوع دفاع کنید. متشودم این است که درباره این که چرا علاقه مند شده اید به دفاع می پردازید. آنکه شاید متوجه شوید که احاسات شما در اثنای این بحث بیش از آن برانگیخته شده است که در خود سخنرانی برانگیخته شده بود. و ممکن است به این حقیقت واقف شوید که تنها اکنون و هنگام مباحثه با همکاران است که به این سیماهای موضوع رسیده اید که به اصطلاح به قلب شما نزدیکتر است.

در ضمن باید بگویم که در اینجا با یکی از نیرومندان ترین دلایل مساعد به حال انجمن شدن نمایندگان شاخه های بسیار دور از یکدیگر علوم و ادبیات برای همکاری در کار های پژوهشی رو به رو هستیم. این انجمنها، از آن جهت که شخص را وادار می کنند که باز دیگر در آنچه می کند بیندیشد، و گزارشی از هدفها و انگیزه های خود به کسانی که آنان را همباز خود در شاخه های دیگر اقلیم

پهناور معرفتمی داند بدهد، بسیار سودمند و نیروبخش است.
و به همین جهت است که زحمت فراهم کردن جوابی را
برای سؤالات ایشان بر خود هموار می‌کند. چه خود را
مستول نقص فهم ایشان می‌داند و خود پسندهانه این نقص را
به جای آنکه از خود بداند از ایشان تصور نمی‌کند.

ولی، با آنکه قبول داشته باشیم که به اهمیت
خاص یک تحقیق البته بدون شناختن رشته پژوهشی که
بر آن مقدم بوده و سبب جلب توجه به آن خط خاص
تجربه و آزمایش شده است، نمی‌توان پی برد، باز هم
جداً جای این سؤال هست که آیا این واقعیت واقعاً نماینده
یک عامل بسیار شخصی و ذهنی در علم نیست. از طرف
دیگر، می‌توان گفت که دانشمندان سراسر زمین کاملاً
بر این امر توافق دارند که در رشته‌های تحقیق خاص هر
یک چه تحقیقات بعدی باید صورت بگیرد، و با توجه به
همین امر ممکن است به حق پرسیده شود که آیا این خود
دلیلی برای عینیت نیست.

بگذارید به سوره‌ای قطعیتر به این مطلب رسیدگی
کنیم. برهانی که آوردیم به همه پژوهشگران سراسر زمین

قابل تطبیق است، ولی برای یک شاخه علم و برای یک سر-
این مردان عملاً یک واحد را تشکیل می‌دهند. اجتماعی
است نسبتاً کوچک ولی بسیار پراکنده که وسایل جدید
ارتباط آنها را به هم پیوسته و به صورت یک واحد در
آوردده است. افراد این اجتماع میل‌ات واحدی را
می‌خوانند. افکار خود را با یکدیگر مبادله می‌کنند.
و نتیجه آن است که یک توافق به اندازه کافی قطعی پیدا
می‌شود که در فلان یا فلان مسئله چه عقایدی مایه اطمینان
است. با هر پیشرفتی که حاصل آید، شور و شوقی حرفه‌ای
فراهم می‌شود، و هر کامیابی خاصی که در یک سرزمین
صورت گیرد، توسط حرقه مورد نظر که عنوان یک کل
دارد، به شکل پیروزی عام با خوشحالی تلقی می‌شود.
از این لحاظ، علم بین‌المللی به ورزش بین‌المللی شبیه
است، چه از هیچ کدام سود مستقیم خاصی منظور نظر
نیست، و هر دوی آنها به کشور برتر و بیغرضتر فعالیت
بشری تعلق دارند.

اکنون، بین‌المللی بودن علم امر ظریف و الهامبخشی
است؛ ولی همین امر «اجماع عام» را به عنوان دلیلی بر له

در این ایام، پیوسته معطش نظر توده مردم واقع می شود، بگریزد. بعضی از دانشمندان به موسیقی عشق می ورزند، بعضی دیگر داستان و شعر می خوانند، و بعضی به دیدن نمایشنامه ها می روند. بعضی ممکن است به نقاشی یا مجسمه سازی دلبستگی داشته باشند. و اگر کسی معتقد باشد که می تواند از تأثیر سینما بگریزد، به آن دلیل که خود به آن توجهی ندارد، بی شک در اشتباه است. چه حتی نمی تواند در خیابان راه برود مگر آنکه توجهش به تصاویر ستارگان سینما و اوراق تبلیغاتی سینمایی جلب شود. کوتاه سخن آنکه ما همه اعضا و اجزای محیط فرهنگی خویش هستیم.

از همه آنچه گفتیم چنین نتیجه می شود که علاقه پیدا کردن به موضوع خاص و توجه کردن به بعضی از جهات تفکر لزوماً در تحت تأثیر محیط فرهنگی یا روحیه زمانی است که در آن به سر می بریم. در همه شاخه های تمدن ما، يك طرز تکرار کلی نسبت به جهان و خطوط متعدد فعالیت وجود دارد که جلب توجه می کنند، و این جلب توجه از آن لحاظ است که مد و باب روز شده اند، خواه

در سیاست باشد یا در هنر یا در علم. این خصوصیت در علم «صحیح» فیزیک نیز احساس می شود.

آیا چه گونه می توانیم این تأثیرات ذهنی و شخصی را ادراک کنیم و آنها را آشکار سازیم؟ اگر خود را به چشم انداز معاصر مجتهد کنیم، این کار آسان نخواهد بود؛ چه در داخل يك محیط فرهنگی منحصرهای مختصاتی وجود ندارد که بنا بر آنها معلوم شود که جنبه های فردی هر يك چه اندازه از روح محیط به عنوان يك کل تأثیر پذیرفته اند. در زمان حاضر عملاً يك فرهنگ بر سراسر زمین گسترده شده، و به همین جهت تکامل و گسترش علم و هنر در سرزمینهای مختلف در تحت تأثیر تمایل عمومی و یکسانه زمان قرار دارد. به همین جهت، برای روشن شدن آنچه گفتیم، باید به مثالهای تاریخی توسل بجویم، چه در گذشته فرهنگهای سازماندار محدود به سرزمینهای کوچکتر و در عین حال تنوع این فرهنگها بر سیاره ما بیشتر بوده است.

فرهنگ یونانی نمونه جامعی است برای نشان دادن این مطلب که چگونه هر خط فعالیت داخل يك محیط

در تحت تسلط تمایل عمومی خود آن فرهنگ واقع است.
 در علم و هنر یونانی و در نگرش کلی یونانی به زندگی
 بلافاصله می توانیم يك خصوصیت مشترك را باز شناسیم.
 ساختمان روشن و شفاف و صلب هندسه اوقلیدسی نظیر
 است با اشکال ساده و بیپیرایه و محدود معبد یونانی. معبد
 کوچک است و به همه جای آن دسترس هست، و کسانی که
 به آن می نگرند همه جای آن را کاملاً در معرض دید
 دارند، و هیچ جا، چه از حیث شکل و چه از حیث وسعت، از
 دیده مخفی نمی ماند. این چیزی است که کاملاً با معماری
 گوتی تفاوت دارد. در مورد علم یونانی نیز چنین است که
 در آن اندیشه بینهایت به سختی مفهوم شده است. مفهوم
 فرایند نامحدود یونانیان را می ترسانده است، و
 شاهد آن است، معمای کاملاً شناخته شده
 آخیلئوس و لاکبشت. فکر یونانی نمی توانسته است به
 تعریفی که بدکیند از اعداد اسم کرده است برسد، ولو
 اینکه اندیشه اسم بودن به صورت اجمالی در قطر مربع یا
 مکعب وجود داشته است.

نمایشهای یونانی، مخصوصاً آنها که از دوره های

قدیمتر است، در مقایسه با نمایشهای کنونی کاملاً ایستان
 است. یا عمل نیست یا بسیار کم است. آنکه که با وضع
 غم انگیزی رو به رو هستیم، عمل منحصر است به تئیسبی
 که يك موجود بشری در اوضاع و احوال معین می گیرد.
 به همین ترتیب در فیزیک یونانی نیز بالندگی وجود ندارد.
 یونانیان در اندیشه آن نمی افتادند که حرکت را به مراحل
 متوالی آن تجزیه کنند، یا مانند کاری که نیوتون کرد،
 در هر لحظه به جستجوی علت چیزی بپردازند که در لحظه
 بعد پیش خواهد آمد. یونانیان این تجزیه و تحلیل را
 حقیر و ناسازگار با حس زیبا شناسی خویش می پنداشتند.
 در باره راهی که جسمی در امتداد آن حرکت می کند، به
 صورت يك کل می اندیشیدند؛ آن را نه به صورت چیزی
 که تکامل پیدا می کند، بلکه به صورت چیزی که از پیش
 به تمامی وجود دارد تصور می کردند. هنگام توجه به
 ساده ترین نوع حرکت، حرکت مستقیم الخط را از آن جهت
 کنار گذاشتند که همه آن را نمی توان يك دفعه احساس
 کرد حرکت مستقیم الخط هرگز تمام نمی شود، و هرگز نمی
 توان به آن به صورت يك کل دسترس پیدا کرد. با مشاهده

آسمان پرستاره ، یونانی راهی برای حل دشواریهای مفهوم حرکت پیدا کرد. از این مشاهده نتیجه گرفت که مسیر دایره‌ای که با حرکت یکنواخت طی شود ، کمترین و طبیعتی‌ترین حرکت جسم است ، و اینکه آن جسم در ضمن چنین حرکتی با تأثیر جسم بزرگتری در مرکز دایره به راه می‌افتد و حرکت آن نظم پیدا می‌کند. گمان نمی‌کنم که امروز حق داشته باشیم به این ساختمان ساده لوحانه عقل یونانی بخندیم. تا چندی پیش در باره نظریه کوآشومی اتم خود نیز وضع بسیار مشابهی داشتیم. چون به‌بهتری متعسر نداشتیم ، خود را به سادگیهای مشابهی خرسند نگاه می‌داشتیم ، و تلاشی که برای رفتن به آن طرف سادگیها می‌کردیم ، بیش از آنکه از ورشکستگی تحلیل دیفراسیلی بیوتونی مانع شود ، به این ورشکستگی کمک می‌کرد.

اکنون به بیان مثال دیگری می‌پردازم. اندیشه تکامل بیش از هر اندیشه دیگر در همه میدانهای علم جدید ، و در واقع زندگی جدید ، به صورت يك كل تأثیر داشته است. خواه به صورت کلی آن و خواه به صورت

خاصی که داروین به آن داده است (یعنی سازگاری خود به خود در نتیجه بقای آنچه شایسته تر است). به عنوان نشانه‌ای از عمق این فکر ، باید به خاطر یاوریم که حتی عقل مرد روشینی چون شوپنهاور نمی‌توانست آن را بپذیرد (وی به شدت آن را طرد کرد از آن جهت که این فکر را عتقافض با اندیشه و تصور همان اندازه بر عقل خویش می‌داشت مبنی بر اینکه «اکنون» همیشه يك لحظه و عین خود آن لحظه است ، و اینکه «من» همیشه يك شخص و عین خود آن شخص است) - در صورتی که ، از طرف دیگر ، فلسفه هگل ، با پذیرفتن آن اندیشه تا به امروز حیات خود را محفوظ داشته است که عمری بسیار بیش از عمر طبیعی آن است. از این گذشته ، درست مایع فکر تکامل را در مورد خود فرایند علمی به مورد عمل گذاشته است ، و این فرایند در نظر او همچون تطابق و توافق از اندیشه‌ها است با واقعیتها از طریق انتخاب آنچه تصور می‌کنیم بیشتر با واقعیت سازگار است و طرد آنچه سازگاری کمتر دارد. در فیزیک اختری آموختنیم که به انواع گوناگون ستارگان به عنوان مراحل مختلف

تکاملی اختری نظر کنیم که یکی همیشه همان یکی است. و در همین اواخر شاهد طرح این فکر هستیم که شاید جهان به صورت کلی يك مرحله ایستان نیست، بلکه در نقطه معینی از زمان، که نسبتاً مدت بسیار درازی پیش از این بوده، از يك حالت کاملاً مخالفی به مرحله گسترشی تغییر پیدا کرده است که، بنابر مشاهدات و رصدهای فوق العاده هبل، چنان می نماید که مرحله کنونی آن بوده باشد. (این رصدها نشان می دهد که خطهای طیفی سحابیهای بسیار دور به صورت محسوس به طرف طول موجهای بزرگتر انتقال پیدا می کند، و این جا به جا شدن متناسب با فاصلههای سحابیها است. این خود دلیل آن است که منظومه های سحابی با سرعت عظیم از ما دور می شوند، و در نتیجه چنان می نماید که در سراسر جهان فرایند گسترش عمومی جریان دارد.) ما این فرضیه را خیالبافی میانه می نمی دانیم، از آن جهت که با اندیشه تکامل خو گرفته ایم. اگر چنین اندیشه ای در عصر مقدّمتری پیشنهاد می شد، بدون شك به عنوان اینکه بی معنی و احمقانه است آن را طرد می کردند.

این همه نشان می دهد که چه اندازه علم به چارچوب فکری متداول زمانی که خود جزوی از آن است پستی دارد. هنگامی که خود در بحبوحه يك وضع عمومی هستیم، دیدن شباهتهای کلی برای ما دشوار است. چون بسیار نزدیک هستیم، تنها تمایزات برجسته را می توانیم مشاهده کنیم و توجه به شباهتها برای ما میسر نیست. درست مثل وقتی است که نخستین بار چندین عضو يك خانواده را یکی پس از دیگری می بینیم و به سرعت توجه شباهتها می شویم، ولی اگر با آن خانواده دوستی نزدیک پیدا کنیم، آنگاه تنها تفاوتها نظر ما را جلب می کند. به همین ترتیب، هنگامی که در بحبوحه يك دوره فرهنگی زندگی می کنیم، دریافت خصوصیاتی که مشترک میان شاخه های مختلف بشری در داخل آن دوره است برای ما دشواری دارد. برای روشن شدن این مطلب مثال دیگری می زنیم. يك پدر آلمانی که به نقاشی پسر ده ساله اش نگاه می کند، تنها صفات و کیفیات فردی آن نقاشی را خوب تشخیص می دهد، و به فوریت توجه تأثیر روش خاصی از ترسیم و نقاشی در کار فرزندش نمی شود. ولی

اگر به نقاشی يك پسر ژاپونی نگاه کند، فوراً تأثیر سبك ژاپونی را به عنوان يك كل باز می‌شناسد. در هر دو حالت کوشش ساده و پیریای پسر بچه در تحت نفوذ سنت هنری زمانی است که دران زندگی می‌کند که حتی در قالب‌ریزی کوچکترین جزئیات آن مؤثر است.

V

علم فیزیک و مزاج زمانه

در این فصل از این مسئله بحث خواهم کرد که تا چه حد تصویر جهان مادی، بدان صورت که علم جدید برای ما ترسیم می‌کند، در تحت تأثیر بعضی از تمایلات معاصر، که اصلاً مختص به علم نیست، مطرح‌ریزی شده است. خواهیم دید که همین تمایلات بر هنر و حرفه و سیاست و سازمان‌های صنعتی و اجتماعی ما نیز استیلا دارد. مثلاً، در هنر، اندیشه غالب اندیشه سادگی و هدف‌داری - و به اصطلاح آلمانی *reine Sachlichkeit* - است، و بر همه حرفه‌های ما همین اندیشه حکومت می‌کند. در سیاست و در نظم اجتماعی، میل به تغییر و آزادی از یوغ قانون و مقررات و پتهای اجتماع، از سیماهای برجسته به شمار می‌رود. ملوز نگرش فلسفی و اخلاقی ما بیشتر نسبی است تا

مطلق. در سازمانهای اجتماعی و بازرگانی و صنعتی ما، روشهای نظارت برتودهها و توازن تولید و مصرف مدوروز است. براینها اضافه می شود اختراع فوق العاده زمان ما که نام علم آمار بران نهاده اند. بهتر است در باره هر يك از تمایلهای جداگانه بحث کنیم، و سیماهای مشابه آن را در علم فیزیك نشان دهیم.

سادگی و هدفداری در هنرها و حرفه ها: اگر نقاش را به عنوان يك مثال انتخاب کنیم، باید بگوییم که شماره نقاشان چهره برداز زمان حاضر، که در اندیشه ترسیم شمایی همچون شمایل X کار رفاثیل باشند که دران جزئیات لباس و ائانیته کامل ترسیم شده است، بسیار محدود است. نقاشان ما به این خرسندند که سیماهای اصلی مدلهای خود را رسم کنند، و هر کوششی را که برای تزئین یا نقاشی دقیق فروع به کار رود مانعی در مقابل هدف اصلی می دانند که نمایاندن خصوصیت و شخصیت مدل است به همان صورت که در سیماهای اصلی آن آشکار می شود. پشت سر همه حرفه های ما همین اراده برای هدفداری مشاهده می شود. در ساختمان خانه ها،

در ساختن ائانیته و اسباب خانه، در نقشههای ساختمانی که مهندسان اتوموبیل ساز و خط آهن ساز و کشتی ساز ما از آن پیروی می کنند، هر چیز که سهمی در هدف اصلی مورد نظر نداشته باشد فدا می شود. چنان احساس می کنیم که به هیچ آرایشی که همانکسک بنا شاه کلید سودمندی عملی باشد نیازی نداریم. و دست کشیدن از این فروع تربینی نه به خاطر بیوفی و سودمندیکری است، بلکه به جهت اعتقادی است که به این امر پیدا کرده ایم که اگر مبالغه سودمندی کاملاً مراعات شود، سبب پیدا شدن زیبایی از نوع مخصوص به خود خواهد شد. دیگر ازان بیم نداریم که بر دیوارها یا در ائانیته فضاهای خالی وسیع وجود داشته باشد. دیگر از آنچه آلمانیها *platzangst* یعنی ترس از فضاهای خالی دارند بیمی به خود راه نمی دهیم. اکنون بر کردن فضاهای خالی روی دیوارها را با تصاویر بیمعنایی که در قابهای کنده کاری شده بسیار زیبا گذاشته اند، بد سلیقگی می شماریم، و نیز قابسازی بر روی دیوار یا گچبری در جاهای خالی را نمی پسندیم. در علم ما نیز کیفیت مشابهی دیده می شود. به این

آغاز کرده‌ایم که تصویر جهان را به نحوی بسازیم که تنها واقعیه‌های قابل اثبات به وسیله تجربه در آن نمایان باشد، و تا آنجا که ممکن است از فرضها یا نظریه های ارادی دوری می‌گیریم. خواستار فرعیات تزیینی نیستیم. درست به همان گونه که دیگر در اثاثیه و اطلاقهای زندگی خود از سطوح برهنه ترسی نداریم، همان گونه هم در تصویر علمی که از جهان خارجی می‌سازیم کوشش نمی‌کنیم که جاهای خالی را پر کنیم. سعی داریم که هر چیز را که اصولاً نمی‌تواند موضوع مشاهده تجربی باشد کنار بگذاریم. چنان ترجیح می‌دهیم که به احساس عدم کمالی که می‌کنیم توجه نداشته باشیم و برای ارضای آن ساختمانهای ذهنی و فکری را، که قابل آن نیستند تا با محاکم تجربه آزموده شوند و تطابق آنها با واقعیت خارجی معلوم شود، وارد کار نکنیم.

به عنوان مثال از پیدایش نظریه حرکتی گازها بحث می‌کنم. سابق بر این مولکولهای گازی را به شکل گلوله‌های کوچک کشان، شبیه گلوله های بیلیارد می‌گروه سکویی - ولی کاملاً کشان - تصور می‌کردند که

چون به یکدیگر یا به دیواره ظرفی که در آن هستند برخورد به طرف مخالف می‌چند. رفته رفته متوجه شدند که کافی و بهتر چنان است که به جای گلوله های بیلیارد منظومه‌های مکانیکی را جانشین کنند که ماهیت درست آنها ممکن است تا معین بماند ولی شرط آن است که این منظومه‌ها درست از قوانین مکانیکی اطاعت کنند. بعد ها رفته رفته معلوم شد که فرض این منظومه ها با ساختمان درونی اتمها و مولکولها سازگاری ندارد، و سپس معلوم شد که نتایج اصلی که از نظریه قدیمی گازها به دست می‌آید، بدون فرضهای دیگری جز پذیرفتن اینک قوانین بقای انرژی و مقدار حرکت بر تصادمهای مولکولها با جدار ظرف محتوی آنها صادق است، قابل بیان است. و حتی کافی است که این قوانین را تنها به عنوان بیان کنندۀ میانگینها در نظر بگیریم، بدین معنی که آنها را فقط برای شماره بزرگی از تصادمهای مولکولی روی هم رفته معتبر بدانیم.

نمونه دیگر را در وضع جالب توجهی می‌یابیم که مفهوم جدید مکانیک کوآتومی هنگام انطباق بر مسائل

اتومی بر خاسته در مقابل فرض قدیمتر به خود گرفته است . اصل موضوعی اساسی از نظریهٔ جدید کوآتوم این است که ، هنگامی که یک اتم از خود انرژی تشعشع می‌کند ، از یک تراز برتر کاملاً مشخص انرژی به یک تراز فروتر کاملاً مشخص انرژی تغییر وضع می‌دهد ، و اینکه تشعشع کوآتوم انرژی از اتم به صورت موجی نورانی است که بسامد آن درست معین است . اگر تراز اول انرژی را E_1 و تراز دوم آن را E_2 بنامیم ، بسامد موج نسوری $\frac{E_2 - E_1}{h}$ خواهد بود که در آن h ثابت پلانک است . یک جزء اساسی از این نظریه آن است که اندازم های متوسط انرژی ، میان E_1 و E_2 هرگز مشاهده نمی‌شود . آیا اتم ناگهانی ، یعنی بدون خواستن زمان ، از یک حالت انرژی به حالت دیگر تغییر وضع می‌دهد ؟ چنین چیزی ممکن نیست ، چون ثابت شده است که رشتهٔ موجی که از خود بیرون می‌فرستد ، طول موج قابل توجهی دارد که در بعضی از حالات از ثلث متر هم بیشتر است ؛ بنا بر این صدور انرژی نامعوم نیازمند به

زمانی است که ، از لحاظ فعل و انفعال اتمی ، کاملاً قابل ملاحظه است . آیا انرژی اتم در طول این مدت از زمان ، یعنی در آن هنگام که رشتهٔ موج صادر می‌شود ، چه اندازه است ؟ E_1 است یا E_2 ؟ هر یک از این دو را که به عنوان جواب انتخاب کنیم ، دشواریهای پیش خواهد آمد . چه تا زمانی که انرژی اتم هنوز E_1 است ، انرژی نورانی به اصطلاح « سرفت » باید صادر شده باشد . و اگر اتم پیش از آنکه فرایند تشعشع تمام شده باشد به E_2 جدید ، پرداخت « پیشکی » کرده است . در هر یک از دو حالت اگر فی المثل عامل خارجی شدیدی ، مانند تصادم با یک اتم دیگر ، دخالت کند که مایهٔ قطع فرایند شود ، آیا اتم دیگر ، واجب الاحترام بقای انرژی چه پیش خواهد آمد ؟ این معما با نظریهٔ قدیمتر کوآتوم لایحل باقی مانده بود ؛ ولی نظریهٔ جدیدتر کوآتوم در برابر آن وضع شکفت انگیزی از خود نشان می‌دهد و آن این که اصلاً سؤال مورد نظر را بی‌معنی می‌داند . پرسیدن اینکه اتم « واقعاً » در فلان لحظه از زمان چه اندازه انرژی دارد ، بی آنکه بتوانیم آن را اندازه بگیریم ، سؤال

یجایی است . و ، بنا بر نظر هاینز برگ ، بدون تداخل
ارزیابی با دستگاه ، که هر چه اندازه گیری دقیقتر باشد
جدیتر می شود ، این اندازه گیری علی الاصول غیر ممکن
است (و این خود به رابطه عدم قطعیت میان انرژی و
زمان مربوط می شود) . اگر بران شویم که این اندازه -
گیری را انجام دهیم ، آن وقت مسلم است که عملاً یا E_1
را به دست می آوریم یا E_2 را ، و هرگز اندازه متوسطی
پیدا نمی کنیم ؛ و نیز اینکه ، درست متناظر با آن ، در
مجاورت اتم با مقدار کلی انرژی $E_1 - E_2$ را به صورت
تشنع خواهیم یافت ، یا اصلاً چیزی نخواهیم یافت . پس
اگر با تجربه تحقیق کنیم هرگز به اینکه اصل بقای
انرژی مورد بیحرمی قرار گرفته باشد بر نخواهیم خورد .
و اگر چنین نکنیم ، آن وقت است که از ما می خواهند که
از دادن هر گونه معنایی به مفهوم انرژی فعلی دستگاه
خود داری کنیم ! تصویر جهان ما در این صورت برهنه و
خالی می ماند - از وجود فضای خالی بر روی طرح خود
نرمی نداریم . حد اینجا نظر جاری را بیان کردم بی آنکه
آن را مورد انتقاد قرار داده باشم . اگر دوست داشته باشید ،

می توانید آن را مُدر علمی روز بخوانید چه همان چیزی
است که به منظور بحث فعلی خود به آن توجه پیدا
کرده ایم .

میل به تغییر و آذانه شدن از چنگ پنهان : امروز تقریباً
در هر شاخه از فعالیت بشری ، خواه سیاسی یا اجتماعی
یا هنری یا دینی ، شکاکگیری عمیقی نسبت به اصول
پذیرفته شده سنتی وجود دارد . البته در هر عصری تا
حدی میل به تغییر بوده است ؛ و اگر چنین نبود زندگی
بیشرفت نمی کرد . ولی آنچه امروز بیشتر جلب توجه
می کند این است که میل به گریختن از اندیشه های پذیرفته
شده و جاری نه تنها به هر شاخه از فعالیت بشری کشیده
شده ، بلکه وضع عامی است که همه طبقات مردم را فرا
گرفته است . از این گذشته ، هواخواهان تغییر دیگر تنها
افراد اقلیت تشکیل شده از مردمان غیر متعارف و
ماجراجو نیستند ؛ آرزوی تغییر همگانی شده است . این
یکی از مشخصات عقلی مسئولترین و جدیترین مردمان
زمان ما است ، و تنها تصور آشفته گروهی از مردم کوچه و
بازار نیست که همیشه آماده آنند که بدبختیهای زندگی

خویش را به گردن حماقت دیگران بیندازند و به همین جهت آنان را ملامت کنند ، و چنان پندارند که وضع هر چه بشود از آنچه فعلاً موجود است بهتر خواهد بود . تمایل به کاستن از ارزش سازمانهای موجود ، به صورت نیرومند تر در وضع کلی نسبت به حقیقت و اعتبار از هر نوع ، بالخاصه حقیقتی که تنها بر سنت متکی باشد ، مشهود است . هر چیز باید به محک تحقیق عقلی مستقل آزموده شود ، و سازمانی که بتواند بر این زمینه اثبات وجود کند ، باید از میان برود . برای برپا ماندن سازمانها چیزی جز سیر تاریخی تنها یا قبول نسلهای گذشته ضرورت دارد . من در اینجا چیزی به سود این تمایل یا به زیان آن نمی گویم . امری است که وجود دارد و نباید آن را همچون واقعیتهایی قبول کنیم . تأثیر آن به صورتی قطعی در فیزیک معاصر قابل مشاهده است . ولی ، در مورد علم فیزیک ، می توانیم آغاز چنین تمایل و بهیستی را در زمانی پیش از جنگ جهانی یابیم . نخستین گام در راه تغییر اساسی ، اکتشاف چیزی است به نام هندسه غیر اوقلیدسی که تاریخ آن به بیش از یک قرن پیش می رسد . به یاد می آید و

بدون شتاب ولی با نیرویی روز افزون این سؤال پیش آمد که کدام هندسه واقعاً صحت دارد . هندسه سنتی واجب الاحترام او قلیدیس ، که بنا بر آن فضای سه بعدی مشاهد سطح بی پایان گسترده در دو بعد است ، با یکی از هندسه های تازه اختراع شده ای که فضا را منحصر و با انحنای معین مثبت یا منفی معرفی می کند . تئوری که در این اندیشه موجود است وقتی سخت شما را تکان می دهد که این مطلب را به خاطر بیاورید که فضای سه بعدی یا انحنای مثبت مشابهی دو بعدی وجود دارد و آن سطح توپ بسیار بزرگی است ، و این فضای سه بعدی ، مانند سطح توپ ، محدود ولی بی پایان است .

غالباً گفته شده است - گر چه به من گفته اند که از روی نوشته ها یا نامه های گاوس قابل اثبات نیست - که این ریاضیدان بزرگ ، در ضمن انجام دادن يك عمل مثلث - بندی در شمال آلمان ، امید ی پیدا کرده بود که امکان گرفتن تصمیمی میان هندسه های مختلف از راه تجربه وجود دارد . بنا برد و نوع هندسه غیر او قلیدیس ، مجموع سه زاویه مثلث ، از 180° بیشتر یا کمتر است و 180° تنها از

بپذیریم، یا آن را بنا بر مصلحت خویش تغییر دهیم، بدین معنی که آن را به هر صورتی که بیان نموده‌ای طبیعی را ساده‌تر می‌کند بپذیریم. در اینجا باید گفت که وقتی که تصور می‌کنیم که از لحاظ پژوهش فیزیکی، چیزی مناسبتر از اصلی که مدتهای دراز مورد قبول است پیدا کرده‌ایم، نه تنها آزادی طرد کردن آن اصل را داریم، بلکه این آزادی را نیز داریم که اگر زمانی دیگر متوجه این شویم که بنا بر اشتباهی آن اصل را کنار گذاشته‌ایم، بار دیگر آن را قبول کنیم. این اشتباه ممکن است در نتیجه اکتشاف واقعیه‌های تازه به آسانی معلوم نشود. يك علم اختباری در حال پیشرفت و تکامل محتاج آن نیست و نباید که از عدم سازگاری میان اظهاراتی که در دوره‌های متوالی کرده است نگران باشد و از ملامت شدن از این جهت بترسد.

اندیشه نسبت و نامردابی: گمان می‌کنم که این افکار باید کاملاً مجزاً از جنبه انقلابی مورد بحث واقع شود، چه به خودی خود تا ماورای چشم انداز فیزیک اعتماد پیدا می‌کند. فکر نسبت بسیار کهنتر از نظریه

نسبت اینشتین است. نخستین پیروان شناخته شده در تاریخ نسبت در باختر زمین، سופسطائیان یونانی بوده‌اند که ادعای آن داشتند که با هر سخنوری می‌تواند صحت هر يك از دو حکم متناقض یا یکدیگر را اثبات کنند. گرچه این عمل برای مشاوران حقوقی و سیاستمداران سودمند بوده است، ولی من بیشتر بر این عقیده‌ام که سופسطائیان در آغاز کار قصدی جدی‌تر از این داشته‌اند که تنها با در کردن حریف از میدان با سخنان قانع کنند خود نمایی کنند. من اطمینان دارم که قصد آنان تأکید در باره این حقیقت بوده است که يك حکم به ندرت تنها درست یا تنها نادرست است، بلکه تقریباً همیشه دیدگاهی را می‌توان یافت که ازان دیدگاه حکم مورد نظر درست است، و دیدگاه دیگری را نیز، که ازان دیدگاه حکم مورد نظر نادرست است. چون به صورت کلی بیان کنیم، هسته و جوهر اندیشه نسبت چنین است: حتی در برابر يك سؤال معین که با دقت طرح شود (مثلاً: آیا زمین نسبت به محیطی که امواج نورانی در آن منتشر می‌شود، حرکت می‌کند یا حرکت نمی‌کند؟)، با اینکه آن سؤال

بیشتر از يك جواب آری « یا نه » قبول نمی کند ، گاهی چنان اتفاق می افتد که آدمی باید چنین جواب دهد : بسته به این است که چگونه به آن نظر کنید . بسته به این است . ولی البته این جواب دو پهلو نیست که محتوی بزرگترین اندیشه است . مشکل بزرگ ساختن این بسته به این است به صورتی است که تناقضی که سبب پیدا شدن معما شده است از میان برود .

در مثالی که به آن اشاره کردم ، انحراف نوری که از ثوابت می رسد ، چنان می نمود که با نتایج تجربه مایکلسون تناقض دارد . با اصطلاح انحراف نور به این واقعیت اشاره می کنیم که امتدادی که ستاره ثابتی را در آن امتداد می بینیم ، با تغییر امتداد حرکت زمین در مسیر سالانه اش تغییر می پذیرد . استنباط آشکار این بود که زمین در مقابل امواج نورانی حرکت می کند ، درست به همان صورت که راننده اتوموبیل در مقابل بارانی که به شیشه برابر او می خورد متحرک است . چنان به نظر او می رسد که دانه های باران از رو به رو به طرف او می آید . اگر این استدلال صحیح باشد ، می توان بر قیاس آن چنین استدلال کرد که در يك

آزمایشگاه ، که با زمین در حرکت است است . زمانی که يك شعاع نورانی برای پیوند فاصله يك کنار آن آزمایشگاه تا کنار دیگر آن لازم دارد ، در صورتی که این فاصله در امتداد حرکت زمین (و بنا بر این آزمایشگاه) باشد ، درازتر از زمانی است که برای پیوند جهت مخالف آن لازم می شود . چه اگر هدف به طرف شخص دوند حرکت کند ، زودتر به آن خواهد رسید تا وقتی که هدف در خلاف جهت حرکت شخص دونده حرکت داشته باشد . ولی تجربه مایکلسون نشان داد که در هر دو حالت زمان یکی است . برای رفع این اشکال توضیحات گوناگون داده شده ، ولی هیچ يك رضایتبخش نبوده است . مثلاً در یکی از آنها تلاش برای حل این معما به صورت این فرض مطرح شده است که دسته شعاع نوری که از يك منبع آزمایشگاهی صادر می شود ، سرعت آن منبع را در لحظه صدور که همان سرعت زمین است دارا می شود ، درست به همان ترتیب که گلوله ای که از هواپیما پرتاب شده باشد ، علاوه بر سرعتی که آتش گرفتن باروت به آن داده است ، سرعت هواپیما را نیز دارا می شود .

ولی از این فرض کاری ساخته نیست، و این امر از مشاهده ستاره‌های مضاعف بسیار دوری که بر گرد یکدیگر دوران می‌کنند معلوم می‌شود. اگر توضیح فوق درست باشد، باید در باره چنین دو ستاره نیز صدق کند، و نوری که از یک ستاره هنگام دور شدن آن از ما صادر می‌شود باید با سرعتی کمتر از سرعت آن در هنگام نزدیک شدن به ما به راه بیفتد. و اگر چنین باشد، یک «پرشانی» نومید کننده از آن نتیجه می‌شود؛ چه معنی آن این خواهد بود که نوری که دیرتر صادر شده است زودتر به ما برسد، بدان فرض که تغییر جهت حرکت ستاره در این فاصله صورت گرفته باشد. ولی هیچ گونه اثری از این پریشانی نوری که از ستارگان مضاعف بسیار دور می‌آید، نمی‌توانیم پیدا کنیم.

دشواری فراوان سازگاری دادن میان این واقعیتها بالاخره سبب پیدایش چیزی شد که به نام نظریه نسبیت خصوصی نامیده شده است. حرکت یک جسم را تنها نسبت به جسم دیگر به عنوان «دستگاه مختصات» می‌توان مستقیماً مشاهده کرد. اکنون بگوئیم تا چنان بپذیریم که مفهوم حرکت معنای دیگری جز حرکت نسبی اجسام

مادی ندارد. اگر ممکن بود که همه قوانین طبیعت، و از جمله قوانین نور را چنان صورتبندی کنیم که متناظر سرعتهای نسبی اجسام مادی باشد، آن وقت قطعاً چنان نتیجه می‌شد که در تجربه مایکلسون، که در آن همه اجسام مورد نظر (زمین، دستگاههای نوری، و شخص ناظر) اصلاً نسبت به یکدیگر حرکت ندارند، سرعت یک جسم نمی‌تواند در نتایج آزمایش آشکار شود. ولی، در مورد انحراف نوری که از ستاره دوری می‌آید، در واقع دو دستگاه مادی وجود دارد که یکی شخص ناظر بر روی زمین است و دیگری ستارهای که رصد شده است. واضح است که سرعتهای نسبی آنها باید در نظر گرفته شود.

همین مثال نمونه‌ای برای حذف سیماهای غیر لازم از تصویری که از جهان مادی و فیزیکی می‌سازیم نیز هست. اگر مفهوم مطلق را که «حرکت» می‌نامیم، و نیز مفهوم «همزمانی» را (که اکنون وارد بحث آن نمی‌شوم) حذف کنیم، آن وقت با یک «فضای خالی» رو به رو خواهیم شد که برای اغلب ما، هنگامی که نخستین بار اندیشه حذف کردن آن سیماها مطرح شد، مقداری

تأراحتی ایجاد کرد.

مفهوم ناگردایی ممکن ضروری اندیشه کلتی نسبت است. اگر چنان اظهار کنید که به سؤالی که طرح کردیم با گفتن «آری» یا «نه» نمی‌توان جواب گفت - که معنی آن، بیان خشونت‌آمیز این مطلب است که سؤال احمقانه‌ای طرح کرده‌ایم - آن وقت در صدد بر می‌آییم که پس سؤال چگونه باید طرح شود تا معنایی داشته باشد! چه چیزها از بسته به آن است خاطر ناپسند شما استقلال دارند؟ مثلاً، در نظریه نسبت، چه چیزها مستقل از دستگاه مختصات؟ - این پرسشها نشان می‌دهد که مقصود از مفهوم ناگردایی چیست. يك بار که این مفهوم صورت‌بندی شد، چنان خود را جامع نشان می‌دهد که ظاهراً همه اندیشه‌های بشری تابع آن است. در فصل گذشته گفتیم که در کار عملی تنها تجربه‌ای را به عنوان جزء مشروح و قانونی گروه داده‌های علمی مستقر - شده خود می‌پذیریم که نتیجه آن تجربه بار دیگر قابل تکرار باشد. معنی این بیان آن است که تجربه باید، نه تنها نسبت به شخص ناظر بلکه نسبت به بسیار چیزهای

دیگر، ناگردا باشد. به طور خلاصه، آن تجربه باید نسبت به هر چیز، جز آن چیزها که هنگام شرح آن مخصوصاً به عنوان شرط اساسی آن بیان کرده‌ایم، ناگردا بیاید. و به معنای کلیتر، تمام آنچه در این فصل‌فصل گذشته مورد بحث قرار گرفته است، به مسئله ناگردایی مربوط می‌شود. بحث در این است که آیا نتایج علم فیزیک نسبت به آن محیط فرهنگی که در آن زندگی می‌کنیم ناگردا است، یا باید آنها را نسبت به این محیط به عنوان چار چوب مختصاتی بیان کنیم. اگر حالت دوم درست باشد، در آن هنگام که محیط فرهنگی دستخوش تغییری اساسی می‌شود، استنباطات و نتایج علم، با آنکه ممکن است از لحاظ جزئیات غلط در نیاید، محتاج آن است که معنا و منظور کاملاً مخالفی پیدا کند.

اکنون به سیمای دیگری که آن را از مشخصات هدایت کننده زمان خود نامیدیم می‌پردازیم. ممکن است آن را کنترل‌تول توده‌ها بنامیم. مقصود از این اصطلاح نشان دادن راه و رسم بسیار پیشرفته تقلیل مصرف وقت و دستریج است در تولید مجموعه‌های بسیار پر شمار از يك

جنس که ساختن يك دانه آن مستلزم هزینه و زمان فراوان است. مثلاً، از این مجموعه ها است گروه ساکنان (يك كشور یا استان یا شهرستان یا بخش)، انتخاب کنندگان، مالیات دهندگان، مصرف کنندگان، مشتریان (برای کتابخانه ها و روزنامه ها و شرکت های بیمه و قطار و غیره)؛ توده های کتاب در کتابخانه ها، اوتوموبیلها و نظایر اینها. وسایل کنترل کردن همه اینها به عنوان مجموعه ها عبارت است از ثبت برداری و تهیه کارت و فهرست و اوراق ثبت رسمی و دفاتر کل، از طریق دستگاه های رسمی منظمی که کار افراد در آن دستگاهها با وضع قوانین کلی و رعایت مقررات خاص تنظیم شده است. تهیه قوانین و امور دادگستری نیز با همین تکنیک و راه و رسم کنترل توده ها صورت می گیرد. در طرح قوانین کوشش ما بر آن است که همه انواع قابل تصور دعاوی و جنحه ها و جنایتها را پیشبینی کنیم، تا قانونی که تهیه می شود چنان باشد که قاضی به آسانی بتواند حکم عدالت مورد نظر را صادر کند، چه اگر غیر از این باشد غیر ممکن است که برای هر حالت خاصی که پیش می آید راهی پیدا کرد و به صورت

بکنواخت و عادلانه دعوا را خاتمه داد.

و از این قبیل است نظام شکفت انگیز تولید کارخانه ها که به وسیله آن در زمان حاضر تقاضای روز افزون مشتریان برای کالاهای مورد نظر برآورده می شود. اگر، مثلاً، قرار بود که هر ماشین تحریر به تنهایی ساخته شود، و هر جزء آن تنها مخصوص يك ماشین باشد، آن وقت سودمندی کاری که با ماشین تحریر صورت می گرفت، هرگز نمی توانست با مقدار عظیم انرژی و وقتی که برای ساختن آن مصرف می شد، موازنه پیدا کند. ولی هنگامی که ماشین تحریرها و همه اجزای آن را استاندارد (= استاندارد) کنیم، و چنان باشد که هر جزئی از آن به صورت رشته ای توسط يك ماشین خاص تهیه شود، آن وقت این امکان فراهم خواهد آمد که ماشین تحریر را به صورت جمله و توده ای بسازیم و بهای هر ماشین به عنوان عنوی از این توده متناسب با سودمندی حاصل از آن باشد. قسمت مهم خرج ساختن برای يك بار لازم می شود، و آن به مصرف تهیه ماشینهای می رسد که هر کدام یکی از اجزای ماشین تحریر را می سازد. چون تولید روزانه

چندین هزار واحد شود، در واقع سودمندی نیز به همین نسبت افزایش پیدا می‌کند، و در نتیجه بهای يك واحد به همان نسبت کاهش می‌یابد، و چیزی فراهم می‌شود که شایسته است نام معجزه به آن داده شود، چه از همین راه است که می‌توانیم مثلاً به بهای دوپست سیصد تومان اسبابی بخریم که اگر بنا بود یکی از آن را برای ما بسازند شاید بیست هزار تومان تمام می‌شد. از برکت همین کوتترول تودم‌ای در کارخانه‌ها است که این همه فراورده‌های نو پیشرفت کرده و به کمال سحر انگیز خود رسیده است. در واقع صدها هزار نفر کمر خدمت بسته‌اند تا عالیجناب مصرف کننده به آنچه می‌خواهد دسترس پیدا کند.

کاملترین مثال از تسلط ما بر ماده در نتیجه دستگاه منظم کوتترول، و در عین حال صرفه جویی در کار با تأمین هزینه ابتدایی برای ساختن ماشینهای لازم، در تحلیل ریاضی نیز مشاهده می‌شود. فایده تحلیل (آنالیز) ریاضی سیمای غالب علم فزیک امروز است. اگر به يك فیلسوف یا دانشمند یونان باستانی می‌گفتند که ما امروز چگونه مسائل روانشناسی را حل می‌کنیم، و اگر،

مثلاً، به او می‌گفتند که می‌توانیم خط سیر پاره کوچکی از يك مایع را دنبال کنیم، و در هر لحظه حساب نیروهایی را داشته باشیم که بر آن تأثیر می‌کند و از آن جهت که از پاره‌های دیگر مایع نتیجه می‌شوند پیوسته در تغییرند، هرگز آن یونانی باور نمی‌کرد که عقل بشری بتواند چنین مسئله پیچیده و دشواری را، ولو اینکه چندین سال وقت خود را مصروف آن داشته باشد، حل کند. ولی این مسئله چیزی است که امروز به عنوان تمرین در کلاسهای درس داده می‌شود و همه دانشجویان آن را حل می‌کنند. واقع امر این است که ما در یافتنیم که چگونه با يك معادله دیفرانسیلی بدین صورت:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0$$

بر سراسر فرایند تسلط پیدا کنیم. گفتیم: «با يك معادله». در واقع این معادله چیزی را بیان می‌کند که برای هر ذره تنها و در هر لحظه معین صادق است. هنر در این است که معرفت خود را چنان صورتبندی کنیم که شکل بیان برای هر نقطه در زمان و

مکان یکسان باشد. به این طریق است که معرفت خود را چنان مورد عمل قرار می‌دهیم که کار با آن از لحاظ زمان و تلاش به همان صورت باشد که سازندای با ماشینهای خود چنان عمل می‌کند.

مثال دیگری را در اجزاء ترکیب کننده تانورها و حاملها می‌توان یافت. يك حرف الفبا را با زیرنویسهای بدین صورت می‌نویسیم:

$$R_{kl, mn} \text{ یا } P_{lm}^k$$

زیرنویسها جانشین عددی است، مانند ۱، ۲، ۳، ۴، و نماینده شماره‌های فهرستی است که به صورتی مرتب تنظیم شده است.

مثلاً نخستین علامتی که در بالا آمده، در نسبت عمومی برای نمایانیدن یکی از چهار کمیت است که در چنین فهرستی آمده. علامت دوم جانشین بیست کمیت مختلف است. این کمیتها غالباً به وسیله دستگاههایی از ۲۰ یا ۳۰ یا ۱۰۰ معادله با یکدیگر پیوستگی دارند که لازم است هر يك از آنها با دیگری به صورت دقیقی ترکیب

شود. ولی، قواعد صحیح (مثلاً قواعد بالا بردن و پایین آوردن اندیسها) نیم دوچین کمیت یا معادله را که مورد نیاز است، خود به خود از کتو بیرون می‌آورد و چنان می‌شود که محاسبه با آن آسانی و وضوح صورت گیرد که کوپی با يك یا دو معادله صورت گرفته است. از این گونه مثالها هرچه بخواهیم می‌توانیم بیاوریم. ساده کردن و صرفه جویی در وقت سیمای اساسی پیشرفت ریاضی است، و به وسیله آن است که دایره پیوسته در حال گسترش پژوهش در محدوده عملی اندیشه کشتی ما وارد می‌شود.

به خدمت گرفتن آثار، که چنین نقش مهمی را در فیزیک و نجوم جدید دارد، یکی از روشهایی است که به نظام کنترل کردن مجموعه‌های عظیم متعلق است. ولی در اینجا اهمیت بیشتر و عمیقتری دارد، چه فکر جدیدی را وارد کار می‌کند که به صورت شکفت انگیزی نتیجه بخشی آن ثابت شده است. کارت و فهرست را همه ما تهیه می‌کنیم تا در هر موردی که پیش می‌آید به سرعت بتوانیم راه عمل خود را بیابیم؛ ولی سیمای اصلی آثار لجباهل منظم و از روی احتیاط جزئیات است. این

يك نمونه بر جسته‌ای است که دران خط تمایل جدیدی مستلزم عوض شدن مسائل و روی کار آمدن مسائل کاملاً تازه دیگر می‌شود. حتی دران صورت هم که امکان به دست آوردن معرفتی در باره جزئیات خاص مربوط به سیماهای فردی پیشامدها فراهم است، این معرفت آن چیزی نیست که مورد توجه آمارگر بوده باشد؛ چه وی چشم به راه قوانینی کاملاً از نوع دیگر است که از آنها اطلاعات تازه‌ای به دست می‌آید. این مطلب در نجوم بهتر ازان مورد قبول است که در فیزیک. در فیزیک ممکن است کسانی که به اندازه کافی آشنایی با اندیشه‌های اساسی آمار ندارند، چنان به نظرشان برسد که آمار نمایشگر اعتراف به شکست است، ازان جهت که مشعر بران است که علت توسل ما به این روش در یافت این امر است که بیان تفصیلی وضع و حرکت مولکولهای تنها، حتی اگر خواستار چنین کاری باشیم، غیر ممکن است. در مورد آمارهای نجومی معرفت به جزئیات حاصل است، ولی به جایی نمی‌رسد. کاملاً به این امر بی‌علاقه هستیم که ستاره خاصی سرختر است یا پریده رنگتر، و شدت نوری

که ازان صادر می‌شود چه اندازه است، و اینکه آیا به طرف ما حرکت می‌کند یا از ما دور می‌شود و اینکه سرعت حرکت آن چه اندازه است. ازان با گریزیم که در اینجا از جزئیات تغافل ورزیم تا بتوانیم به نتایجی برسیم که در هر دستگاه پژوهش مبتنی بر شناختن جزئیات رسیدن به آن نتایج غیر ممکن است. بهتر است تنها يك حالت شناخته شده را به عنوان مثالی از آنچه در نظر دارم بیاورم:

تنها در مورد ستارگانی نسبتاً معدود واقع در «مجاورت بلافاصله» خورشید است که می‌توانیم فاصله آنها را از خودمان، به وسیله جابه جا شدن اختلاف منظری که در عرض سال حاصل می‌شود، مستقیماً اندازه بگیریم. از فاصله ستارگانی که بسیار دورترند، هیچ اطلاع مستقیمی نداریم؛ ولی چنین استنباط می‌کنیم که، به صورت میانگین، هر چه نور آنها ضعیفتر باشد فاصله آنها از ما بیشتر است. بر پایه این فرض، چنان حدس می‌زنیم که ستارگان کم‌نورتر بایستی پر شمارتر از ستارگان روشنتر بوده باشد. و عملاً هم چنین است. و نیز معلوم شده است که شماره

ستارگان با درخشندگی در حال کاهش درست به همان
میزانی افزایش پیدا می کند که، اگر ستارگان، با در نظر
گرفتن میانگین وسیع، در سراسر فضا یکنواخت و با همان
چگالی مشهود در نزدیکیهای زمین توزیع شده بودند،
چنان انتظاری را می داشتیم. چه اگر چنین باشد، آنگاه -
بدان جهت که درخشندگی بر نسبت مجذور فاصله کاهش
پیدا می کند - می توانیم به طور صحیح شماره در حال
افزایش ستارگان را بر نسبتی که درخشندگی آنها کاهش
پیدا می کند، حساب کنیم، و، چنانکه گفتیم، رصدها
موید صحت این محاسبه است. ولی این سخن تا قدر
معینی از روشنی ستارگان صحت دارد. در آن طرف این
حد، شماره ستارگان کم نورتر که قابل رصد است، و بر
مبنای فرض توزیع یکنواخت در سراسر فضا می توانیم آن
را پیشبینی کنیم، از افزایش باز می ایستد. شماره فعلی
رفته رفته از آنچه با محاسبه به دست می آید کمتر می شود.
برای ستارگان دارای این قدر معین، راصد زمینی بنا
تلسکوپ خود به مرز محیط اختری « نزدیک » ما می رسد
که همان راه شیری یا کهکشان زمین است. چون نسبت

آمار میان قدر و فاصله را می دانیم، می توانیم از این
راه ابعاد کهکشان را (که می دانید علمی شکل است) در
همه جهات اندازه بگیریم، در عین آنکه این ابعاد چندان
بزرگ است که تعیین تحقیقی فاصله یک ستاره خاص در آن
غیر ممکن است. بدین ترتیب، از حذف درست و به جای
جزئیات، که پیروی از روش آماری آن را به ما آموخته
است، معرفت ما در باره آسمان کاملاً تغییر شکل پیدا
کرده است.

از هر جهت آشکار است که این روش آماری سبای
غالبی از عصر ما و ابزار کارآمدی برای پیشرفت در تقریباً
هر يك از فواحی زندگی عمومی به شمار می رود. ولی
بدبختانه ابزاری است که به صورتی بسیار نامشخص و
بدون قضاوت نقادانه صحیح به کار می رود. بسیار ساده
می نماید، ولی در واقع سخت پیچیده است. هنگام استعمال
آن در زندگی بشری، که سیماهای پیچیده تر و کاملاً دور
از انتظار ما سر بر می آورد، عمل کردن با این روش بسیار
دشووارتر از آن است که در ستارگان و مولکولها دشواری
دارد. افزودن ستونهای محاسبه و ساختن میانگینها یا چند

در صدها بسیار ساده می نماید . و به این ترتیب است که خود روش ، به علت نقص آمادگی ریاضی و منطقی کسانی که آن را به کار می برند - اگر نخواهیم از نقص بیطرفی در ایشان چیزی بگوئیم - از اعتبار می افتد . ساختن يك « آمار » غلط بسیار آسانتر از ساختن آمار صحیح است ، تا هر کس که علاقه ای به آن دارد بتواند به آسانی از آن لذت ببرد .

آمار های اقتصادی و اجتماعی و نظایر آنها - و به طور خلاصه ، آمار های انسانی - به آمار های فیزیکی بیشتر شبیه است تا به آمار های نجومی . منجم موضوع مورد نظر را رصد می کند ، و ازان جهت که بیرون ازان و دور ازان است ، نمی تواند در آن تأثیر کند ؛ ولی فیزیکدان و آمارگر انسانی می کوشد تا قوانینی را پیشبینی کند که ، اگر اوضاع و احوال خارجی به صورتی اتفاقی تغییر کند ، بنا بران قوانین آمار نیز تغییر پیدا خواهد کرد . در یکی از فصول گذشته به صورتی قطعی از « قانون میانگینها » بدان صورت که در فیریک شناخته شده ، سخن گفتم . این قانون به فیزیکدان شایستگی آن را می دهد که به موضوع

بحث خود تسلط کامل داشته باشد ، گر چه هرگز از سر نوشت يك مولکول تنها نمی تواند یا خبر شود ؛ و نیز نمی تواند در مسیر آن تأثیر کند .

به من اجازه بدهید که این آرزو را داشته باشم که شباهت میان وضع امور در علم فیریک و تمایل بر جنبه زمان ما ، با گذشت زمان بیشتر شود ؛ چه به آن هدف نهایی که من در خاطر دارم ، در زمان حاضر قطعاً نرسیده ایم .

برقرار کردن نظم و حکومت قانون که برای اجتماع بشری ضرورت دارد ، به صورتی که دخالت در کارهای خصوصی افراد به حد اقل ممکن تنزل پیدا کند ، به نظر من ، هدف فرهنگ بسیار پیشرفته ای است . برای این منظور ، روش آماری ، بدان صورت که فیزیکدان آن را به کار می برد ، بسیار مناسب است . در مورد اجتماع بشری ، این روش آماری عبارت از تحقیق در عقل میانگین و موهبت های میانگین بشری است ؛ با در نظر گرفتن دامنه تغییر آن ، و از این راه رسیدن به این امر که چه انگیزه هایی باید در برابر موجودات بشری گذاشته شود که

جوابگوی آرزوهای ایشان باشد و بدین ترتیب نظم
اجتماعی فراهم شود که لافل سیمای اصلی آن قابل تحمل
باشد .

VI

قانون طبیعت چیست؟

به قوانین فیزیک عموماً همچون نمونه سخت و
دقت نظر می شود . بنا بر این ، طبعاً این امر مسلم فرض
می شود که شاید هیچ علم دیگری نتواند به این سؤال که
مقصود از قانون طبیعت چیست ، به روشنی و قطعیت علم
فیزیک پاسخ دهد .

قانون طبیعت چیست ؟ ظاهراً چنان می نماید که
یافتن جواب این سؤال دشواری ندارد . دران هنگام که

۱ - (فلق افتتاحیه درس در دانشگاه زوریخ ، مورخ ۹
دسامبر ۱۹۲۲) . این فلق در زمان ایراد شدن آن به چاپ
نرسید . کمی بعد ، پیشرفت مکانیک کوانتومی اندیشه های
اکسندر را در پیشاپیش مسائل مورد توجه علمی قرار داد ، البته
بی آنکه نامی از اکسندر برده شود . متنی که در اینجا آمده
ترجمه فلق اصلی است که دران جلسه خوانده شده است .

برتری خوداگاهی آدمی برای نخستین بار بیدار شد، وی خود را در محیطی یافت که عوامل متغیر آن بزرگترین تأثیر را در خوشی و ناخوشی او دارد. تجربه - نخست تجربه بینظم تلاش روزانه وی برای زندگی، و سپس تجربه بر خاسته از آزمایشهای علمی که به صورت منظم و به فرمان عقل صورت می گرفت - به آدمی نشان داد که فرایندهای طبیعی که در محیط او پیش می آید، به صورت اتفاقی و بی نقشه یکی پس از دیگری حاصل نمی شود، بلکه تا حد زیادی نظم و نسق خاصی دارد. مشتاقانه کوشید تا از ماهیت این نظم آگاه شود، زیرا چنین آگاهی و معرفت در تلاش برای معاش وی مزایای بسیار عظیم داشت. نظم طبیعی که بدین صورت آدمی به در یافت آن رسید، همیشه برای او شکل واحد داشت. در توالی پیشامدهای طبیعی، پیوسته و در همه جا بعضی از سیماها وابسته به بعضی از سیماهای دیگر است. در موردی که یک گروه از خصوصیات از لحاظ زمانی مقدّم بر گروهی دیگر می شود، این امر اهمیت زیستشناختی فراوان دارد. اوضاع و احوالی که مقدم بر یک پیشامد (A) است که غالباً در

طبیعت حادث می شود، به دو گروه عمده تقسیم می شود: (۱) اوضاع و احوالی که همیشه حضور دارد و تغییر ناپذیر است، و (۲) آنها که فقط گاهی حضور پیدا می کنند و تغییر پذیر است. هنگامی که این امر اکتشاف شده که در جهت عکس نیز گروه تغییر ناپذیر همیشه در دنبال A قرار می گیرد، از این اکتشاف این حکم نتیجه شد که این گروه تغییر ناپذیر از اوضاع و احوال علّی است که سبب پیدا شدن نمود A می شود. بدین ترتیب، دست به دست با اکتشاف ارتباطهای منظم خاص، به اندیشه ارتباط و پیوستگی کلی ضروری میان یک نمود و نمودهای دیگر رسیدیم، و این توجه خلاصه مجموعه ای از ارتباط به صورت یک کل بوده است. در بالا و پایین تجربه عملی و فعلی ما، این اصل موضوع کلی طرح شده است که دران حالات که هنوز موفق نشده ایم که منبع علّیتی نمودی را استخراج کنیم، ناچار باید چنین منبعی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر هر فرایند یا پیشامد طبیعی، مطلقاً و کلاً، لااقل از طریق مجموع اوضاع و احوال یا شرایط فیزیکی که با ظهور آن همراه است، معین و محتوم می شود. این اصل موضوع

را گاهی « اصل علیّت » نامیده اند. اعتقاد ما به این اصل مکرر در مکرر با اکتشاف تدریجی علیتهایی که به صورت خاص شرط وقوع پیشامدی هستند، محکم و استوار شده است.

آنچه نام « قانون طبیعت » به آن می دهیم، چیزی نیست جز یکی از نظمهایی که در حوادث طبیعی مشاهده می شود، که به آن همچون ضرورتی می نگرییم بدان معنی که در اصل موضوع مذکور در فوق گذاشت.

آیا هیچ نقطه تاریکی وجود ندارد، و جایی برای شک نیست؟ و اگر چنین است، این تاریکی و شک کجا است؟ چون در واقعیه های فعلی هیچ جای شکی وجود ندارد، تنها چیزی که مورد تردید قرار می گیرد قابلیت تطبیق و حقیقت کلی و جهانی اصل موضوع علیّت است.

در چهل پنجاه سال گذشته، پژوهشهای فیزیکی با صورتی آشکار و قطعی ثابت کرده است - و چه اکتشاف عجیبی - که هانس ریشه مشترک اکثریت عظیم فرایندهای طبیعی است که توافق آنها با قانون سخت چمشگیر است، و نظم و تغییرناپذیری همین توافق سبب آن شده است که اصل

موضوع علیّت جهانی استقرار پیدا کند.

برای آنکه فرایندی فیزیکی فراهم شود که در آن چنین توافق با قانون مشهود افتد، هزارها و غالباً بیلیونها اتم یا مولکول جدا از یکدیگر باید باهم درآمیزند. (برای فیزیکدانان حرفه ای باید به عنوان معترضه بگویم که این بیان برای آن نموده که اثر حاصل شده از یک اتم منفرد را می توان با موفقیت مورد مطالعه قرار داد نیز صادق است؛ چه در حقیقت عمل متقابل میان این اتم و هزاران اتم دیگر است که اثر مشاهده شده را معین می کند.) در شماره عظیمی از حالات که کاملاً از نوعی دیگر است، اکنون توانسته ایم توضیح دهیم که این نظم مشهود کاملاً نتیجه شماره بسیار بسیار عظیم فرایندهای مولکولی است که با یکدیگر همکاری می کنند. فرایند فردی ممکن است، یا ممکن نیست، نظم دقیق و کامل خود را داشته باشد. در نظم مشهود نمود نموده ای، نیازی به آن نیست که نظم فردی را (اگر باشد) همچون عاملی در نظر بگیریم. بر خلاف، از آنجا که میانگین ملیونها فرایند فردی را می گیریم، نظم فردی از میان می رود و تنها چیزی

که برای ما قابل مشاهده شده است اندازه‌های میانگین است. اندازه‌های میانگین نظم آماری محض خود را متجلی می‌سازند، که اگر نتیجه هر فرایند مولکولی فردی با انداختن مهره یا چرخاندن عقربه يك رولت قمار بازی هم معین می‌شد، باز به همین صورت بود.

تفسیر آماری قوانین، به ساده‌ترین و روشن‌ترین وجه، از طریق نمود گازها مجسم می‌شود، که اندیشه‌های جدید هم از همانجا سرچشمه گرفته است. در این حالت فرایند فردی تصادم دو مولکول گازی با یکدیگر یا با دیوار ظرف است.

بیشتر فشار گاز را بر دیواره ظرفش به نیروی اَبسَاط ماده به حالت گازی نسبت می‌دادند؛ ولی، بنابر نظریه مولکولی، این فشار نتیجه بومباران مولکولها است. شماره برخورد های مولکولی بر هر سانتیمتر مربع از جدار ظرف در مدت يك ثانیه عددی است بسیار عظیم. در مورد هوای جو در صفر درجه صدم بخشی این عدد بیست و چهار رقم دارد (2×10^{23}). حتی در خلا های کامل زمینی و برای يك میلیمتر مربع سطح و تنها در مدت يك هزارم

ثانیه، این عدد یازده رقمی است. نظریه مولکولی علاوه بر آنکه توضیح کاملی از آنچه به اصطلاح قانون گازها نامیده می‌شود که رابطه میان فشار و دما و حجم است، می‌دهد، همه خواص دیگر گازهای حقیقی را، از قبیل حالت انتقال حرارت و عبور از جدارها بیان می‌کند. و این همه به صورت آماری محض است که نتیجه مبادله مولکولها میان قسمتهای مختلف گاز است از طریق فرایندهای فردی با بزرگترین بینظمی. در ضمن انجام عمل محاسبه مربوط و بحث در باره ملاحظات وابسته به آن، معمولاً سخت قوانین مکانیکی را برای يك پیشامد تنها یعنی يك تصادم می‌پذیریم. ولی باید گفت که این اصلاً ضرورت ندارد. کاملاً کفایت می‌کند که فرض کنیم در هر تصادم، افزایش انرژی مکانیکی و مقدار حرکت همان اندازه محتمل است که کاهش آن، بدانسان که اگر میانگین عدد بسیار زیادی از تصادمها گرفته شود، این کمیتها درست به همان گونه ثابت می‌ماند که اگر دو طاس نرد ملیون بار ریخته شود میانگین ۷ می‌شود، در صورتیکه نتیجه يك بار ریختن طاس تابع محض تصادف است.

از آنچه گفتیم، چنین نتیجه می‌شود که تفسیر آماری و این گازها ممکن است، و شاید این تفسیر ساده‌تر است؛ با وجود این نمی‌توانیم چنین استنتاج کنیم که تنها تفسیر ممکن است. ولی یک امتحان صلیبی از تجربه ذیل نتیجه می‌شود. اگر فشار گاز واقعاً فقط میانگین آماری است، باید در معرض نوسان بوده باشد. هر چه شماره فرایندهای جزئی همکاری کننده با یکدیگر، در نتیجه تقلیل دادن (۱) سطحی که فشار بران وارد می‌آید و (۲) لختی جسمی که این فشار را تحمل می‌کند کمتر، و بنا بر این واکنش در برابر نوسانی که در زمان بسیار کوچکی حاصل می‌آید سریعتر شود، آنچه گفتیم باید به صورت قاطع‌تری مشهود افتد. به این هر دو منظور، با معلق نگاه داشتن ذرات خرد ماورای میکروسکوپی در گاز می‌توان رسید. این ذرات یک حرکت مارپیچی بسیار یینظمی را از خود نشان خواهند داد که مدتها به نام حرکت براونی خوانده می‌شد، و هرگز این حرکت متوقف نمی‌شود و از همه خصوصیات با پیشگوییهای نظری موافقت دارد. گرچه شماره مولکولهایی که در طول مدت زمانی اندازه‌گرفتنی با یک ذره تصادم

پیدا می‌کنند هنوز بسیار زیاد است، ولی آن اندازه زیاد نیست که یک فشار مطلقاً یکتواختی را از همه جوابی ایجاد کند. بنابر وفور تصادفی تصادم در یک جهت تصادفی، که کاملاً به صورت یینظمی از یک لحظه به لحظه دیگر تغییر پیدا می‌کند، آن ذره، بر مسیر کاملاً نامنظم، به اینجا یا آنجا رانده می‌شود. بنابر این، در اینجا قانونی از طبیعت را مشاهده می‌کنیم - قانون فشار گازها - که بر نسبتی که شماره فرایندهای فردی همکاری کننده با یکدیگر کاهش پیدا می‌کند، آن قانون نیز ارزش صحیح خود را از دست می‌دهد. برای اثبات خاصیت ذاتاً آماری لا اقل این قانون، کسی نمی‌تواند دلیل قانع کننده‌تر از این تصور کند.

در اینجا باید به حالت‌های متعدد دیگری اشاره کنیم که هم به صورت نظری و هم به صورت تجربی در آنها تحقیق شده است؛ مانند رنگ آبی یکتواخت آسمان که کاملاً نتیجه تغییرات نامنظم جکالیهای جوی (نتیجه ساختمان مولکولی آنها) است، یا تپاهی کاملاً تحت قاعده مواد رادبو آکسیو که از تلاشی انومهای فردی نتیجه

می شود، و در آن چنین می نماید که کاملاً بسته به تصادف است که فلان اتوم با فاصله در زمانی که در باره آن بحث می شود تلاشی شود یا فردا یا یک سال دیگر. ولی با آنکه مثالهای فراوان در نظر گرفته شود، شاید برای این کافی باشد که ما را به خصوصیت آماری قوانین فیزیکی به آن اندازه معتقد کند که قانون دوم ترمودینامیک یا قانون آنتروپی، که در هر فرایند فیزیکی نقش قطعی دارد، چنین می کند و حکم نمونه قانون آماری دارد. گرچه این مطلب، از لحاظ اهمیت فوق العاده ای که دارد، شایسته بحث بیشتر است، در اینجا تنها به این اشاره بسیار سطحی قناعت می ورزم که، از لحاظ احتمالی، قانون آنتروپی ارتباط بسیار نزدیکی با خصوصیت یکجبهتی همه فرایندهای طبیعی دارد. با آنکه قانون آنتروپی به خودی خود برای تعیین جهتی که حالت یک دستگاه مادی در لحظه بعد تغییر خواهد کرد، کافی نیست، همیشه بعضی از جهت های تغییر را طرد می کند، و جهت درست متقابل با جهتی که تغییر در آن جهت صورت می گیرد همیشه طرد می شود. بنا بر خاصیت روش آماری، معنوی قانون آنتروپی بدین

صورت در آمده است: هر فرایند یا پدیده از یک حالت نسبتاً کمتر محتمل - یعنی کمابیش از لحاظ مولکولی منظم - به حالت محتملتر - یعنی حالتی که در آن منظمی میان مولکولها رو به افزایش است - پیشرفت می کند. در مورد آنچه در بالا گفتم، اکنون اختلاف عقیده اساسی میان فیزیکدانان وجود ندارد، ولی در آنچه پس از این خواهم گفت، مسئله به صورت دیگری است. با آنکه بر ما آشکار شده است که قوانین فیزیکی خصوصیت آماری دارند، که این خود بالضرورة مستلزم آن نیست که فرایندهای مولکولی فردی دقیقاً از طریق علیتی تعیین پیدا کرده باشند، هنوز عقیده عمومی بر آن است که، اگر بتوانیم خط سیر فرایند فردی - مثلاً تصادم دو مولکول گازی - را پیدا کنیم، آن را معین شده با علیت صلب خواهیم یافت. (به طریق مشابهی، نتیجه یک بازی قمار یا رولت، اگر کسی بتواند درست ضربهای که بر چرخ وارد آمده و مقاومت هوا واسطکاک محصور و سایر عوامل را اندازه بگیرد، چیزی نیست که بر حسب اتفاق و شانس اتفاق افتاده باشد.) در بعضی از

حالات ، که تصادم دو مولکول گازی هم یکی از آنها است ،
حتی ادعا شده است که سیماهای قطعی فرایند ، یعنی
بقای انرژی و مقدار حرکت را در هر ضربه واحد و نه
تنها به صورت میانگین ، می توان معین کرد .

فرا تراکسر ، فیزیکدان تجربی ، نخستین بار در
۱۹۱۹ خرده گیری فلسفی حادثی را بر ضد روش کاملاً
مورد قبول پذیرفته بودن معینگری مطلق فرایند های
مولکولی در نزد همگان به راه انداخت . وی به این
نتیجه رسید که ادعای معینگری قطعاً ممکن است ، ولی
به هیچ وجه ضروری نیست ، و چون دقیقتر مورد مطالعه
قرار گیر بدای بسیار محتمل نیست .

در مورد عدم ضرورت عقیده خود را بیش از این بیان
کردم ؛ و من با اکسر در این امر موافقت دارم که ، علی رغم
این واقعیت که اغلب فیزیکدانان ، برای قوایینی که اساس
کار خود قرار می دهند ، مدعی خصوصیت های کاملاً معین
هستند ، می توان این عدم ضرورت را تأیید کرد . طبیعتاً
می توانیم اصل انرژی را در مقیاس بزرگ از این طریق که
پیش از این در حوادث مفرد کار آمد بوده است توضیح دهیم .

ولی من دلیلی نمی بینم که نامرور از چنین کاری باشیم .
به همین طریق ، می توانیم نیروی ایستایی یک گاز را
حاصل جمع نیروی های ایستایی ذرات جزئی آن بدانیم .
ولی این تعبیر در اینجا قطعاً نادرست است ، و من نمی دانم
چرا در اینجا باید به آن همچون توضیح منحصر ممکن نظر
کنیم . و نیز می توان گفت که قضیه انرژی - مقدار حرکت
تنها چهار معادله برای ما فراهم می آورد ، و به این ترتیب
فرایند های فرد جزئی را ، حتی اگر با آنها سازگار باشد ،
بسیار نامعین می گذارد . آیا از همان جا که این اعتقاد
همگانی برخاسته است که رفتار مولکولها یا ، علیت
مطلق معین می شود ، این اعتقاد هم برخاسته است که نظر
مخالف آن غیر قابل تصور است ؟ تنها از عادات میراثی
چند هزار ساله اندیشیدن از طریق علیت است که تصور حوادث
معین و محتوم و تصور علیتی بودن مطلق نتیجه شده ،
و این کاملاً بی معنی و منطقی نامعقول می نماید .

ولی آیا این عادت تفکر علیتی از کجا سرچشمه
گرفته است ؟ از مشاهده صدها و هزارها سال نظم و انتظامی در
جریان طبیعی حوادث که در پرتو معرفت کنونی ما ،

قطعاً به فرمان علیت نیستند ، یا لافل ذاتاً به این صورت اداره نمی شوند ، چه می بینیم که آن حوادث نمودهای تنظیم شده از طریق آماری هستند . بنابراین عادت سنتی پایه عقلانی خود را از دست می دهد . ولی اگر اجازه بدهیم که این عادت این اصل را بر ما تحمیل کند که ، در پشت همه نظمهای آماری ، باید قوانین علیتی موجود باشد ، به صورت آشکار مستلزم دور می شود که منطقیاً مردود است .

نه تنها زمینه هایی برای آن نیست که این فرض را بر ما تحمیل کند ، بلکه این مطلب را می توانیم ثابت کنیم که چنین تئویتی در قوانین طبیعت امر غیر محتملی است . از یک طرف قوانین درونی اصیل و مطلق حاکم بر بینهایت کوچکها را داریم ، و از طرف دیگر آن نظم کلی و غیر میکروسکوپی حوادث مشاهده می شود که در سیماهای اصلی خود نتیجه وجود قوانین اصیل نیست ، بلکه تعیین کننده آن بیشتر مفهوم عدد محض است که آفریده ساده و شفاف عقل بشری است . در جهان ظواهر قابلیت تعقل روشن و قطعی دیده می شود ، و در پشت سر آن يك فرمانده تاریک و به

صورت ابدی غیر قابل تعقل ، یا يك « قست » و نصیب اسرارآمیز ! امکان آنکه واقع امر چنین باشد قابل پذیرفتن است ؛ ولی این دو گونهگی قانون طبیعی بسیار شبیه است به تصور دو گونهگی برای اشیاء طبیعی و تصور نفسی برای آنها که من نمی توانم آن را بپذیرم .

ولی ، نباید چنان تصور کرد که من این نظر جدید غیر علیتی (یعنی نه بالقوه و نه علیتی) را تمام می دانم و دفاع ازان را آسان می شمارم . عقیده رایج امروز این است که لافل قوانین گرایش و روانبرق از نوع مطلق ابتدایی هستند ، و این که آن قوانین بر جهان اتموها و الکترونها حکومت می کنند و شاید به عنوان قانون ابتدایی اصلی در پایه هر چیز قرار دارند . شما همه با موفقیت شکفت انگیز نظریه گرائشی اینشتین آشنایی دارید . آیا حق داریم از این نتیجه بگیری که معادلات گرائشی قانون ابتدایی و عنصری است ؟ من که چنین فکری نمی کنم . در هیچ فرایند طبیعی شماره اتمهای منفردی که بایستی با یکدیگر همکاری کنند تا اثر مشهودی به نظر برسد ، به اندازه نمودهای گرائشی زیاد نیست . و این امر ، از لحاظ

آماري ، توضیح می دهد که چرا در پیشگویی حرکت
سیارات از صدها سال پیش توانسته ایم به آن صحت فوق
العاده ای که رسیدیم برسیم . از این گذشته نباید منکر آن
باشیم که نظریه اینشتین تکیه گاه نیرومندی برای اعتقاد به
صحت مطلق اصلهای انرژی و مقدار حرکت است . در مورد
ذره ، این اصلها عملاً مستلزم چیزی جز تمایل به طرف
پایداری مطلق نیست . چه نظریه اینشتین در واقع چیزی نیست
جز بازگرداندن گرایش به قانون لختی . این که در بعضی
از شرایط هیچ چیز تغییر نمی کند ، قطعاً ساده ترین قانون
است که ممکن است تصور شود ، و مشکل است که این تصور در
مفهوم تعین علیتی بگنجد . آخر کار ممکن است با یک
نظر غیر علیتی درباره طبیعت هم ساز باشد .

برخلاف گرایش ، قوانین روانبرق در زمان حاضر
عموماً در درون خود انوم به کار برده می شود ، که
البته با موفقیت شکست انگیز هم همراه است . این نتایج
مثبت را می توان به عنوان جد یت ترین اعتراض بر ضد
نظریه غیر علیتی مطرح کرد . فرصت به من اجازه نمی دهد
که در این مسئله بیشتر از این بحث کنم . باید خود را به

اشارات کلی ذیل محدود کنیم که در عین حال ، به اختصار ،
نتایجی را که به آن رسیدیم بیان می کند :
ادعای اکثر چنین است : کاملاً ممکن است که
قوانین طبیعت خصوصیت آماری داشته باشد . دنبال
قانونی مطلق در مایه های قانون آماری گشتن که هر کس
امروز این نقاضا را ضرورتی می داند — از دسترس
تجربه بیرون است . چنین پایه دوگانه ای برای سیر منظم
حوادث در طبیعت ، به خودی خود غیر محتمل است . بار افاده
دلیل بر دوش کسانی می افتد که قهرمان علیت مطلق هستند ، نه آن
کسان که در آن تردید می کنند . چه وضع مردی از این لحاظ
داشتن ، امروز بسیار طبیعیت تر است .

نظریه روانبرقی انوم برای فراهم آوردن این دلیل
نامناسب است ، چه این نظریه به صورت همگانی شناخته
شده است که از ناسازگارهای ذاتی جدی ، که غالباً
احساس می شود که رنگ منطقی دارند ، دچار گرفتاری
است . بهتر آن می دانم که بر این عقیده باشم که ، آن زمان
که از جانبداری ریشه دار خود از علیت مطلق صرف نظر
کردیم ، این دشواریها را از بین خواهیم برد ، و این نظر را

کمتر می‌پسندم که روزی خواهد رسید که نظریهٔ اتمی
بتواند عقیدهٔ جزمی علیّت را اثبات کند.

VII

مردمهای تصویری در فیزیک و ارزش فلسفی آنها

اعتقاد من آن است که هر کس به پیشرفت پژوهش
در ساختمان ماده در ظرف مدت سی و چهار سال اخیر
علاقه‌مند بوده، باید گاهی چنان احساس کرده باشد که
گویی خواب‌گردی است که ناگهانی از خواب بیدار شده و
با کمال شگفتی خود را در برابر احکام و ادعاهای بسیار
دقیق و مفصل یافته است که ما مدّعی اثبات آنها هستیم.
در چنین لحظاتی بران می‌شویم که بآنکه برداریم و بگوییم:
خدایا! آیا همهٔ اینها واقعاً به ثبوت رسیده است؟ آیا این
اتمها و الکترونها و غیره واقعاً وجود دارند، و اگر به

۱- نقلی است که توسط شروودینگر در تاریخ ۸ دسامبر ۱۹۲۸
در انجمن فیزیک شهر فرانکفورت کنفرانس ایراد شده است.

راستی چنین است ، آیا درست به همان هیئتی هستند که به آنها نسبت می دهند ؟ آیا وجود آنها ، چنان که بعضی می گویند ، همان اندازه با قطعیت تضمین شده است که وجود چیز هایی که در اطراف ما است و می توانیم آنها را لمس کنیم و ببینیم ؟

شیئی را که نزدیک دست است - مثلاً این سبد میوه - در نظر می گیریم و می پرسیم که چرا و به چه معنی به این شیء وجود واقعی نسبت می دهیم . اختلاف آن با تصویری از سبد میوه یا با آنچه از راه خطای باصره یا توهم در نظر ما نمودار می شود در چیست ؟ تجزیه و تحلیل دقیقتر نشان می دهد که این سبد میوه در واقع چیزی نیست جز قالبی که بعضی از ادراکات حسی را در خود با هم متحد می کند ، که قسمتی از آنها جنبه فعلی دارند ، در صورتیکه اکثر آنها مجازی است ، و ما منتظر فراهم آمدن تصادفی آنها بنابر نسبتی معین در کنار یکدیگر هستیم . تصویر بصری تا زمانی که دیدگاه خود را تغییر ندادیم دوام می کند ، و به همین جهت است که با وهم و خطای باصره تفاوت دارد . اگر دیدگاه خود را تغییر دهیم ، شکل آن بنابر قاعده ای معین تغییر

می کند . توقع داریم که اگر آن را لمس کنیم احساس خاص لمسی برای ما حاصل شود ، و اگر میوه را با دندان پاره کنیم مزه خاص بچشیم ، و اگر سبد را بشاریم صدای خاصی از آن بشنویم . ما معمولاً از این توقعات آگاهی خاص نداریم ؛ همه آنها را در چیزی به نام سبد میوه ای که واقعاً وجود دارد متمرکز می سازیم . و چیزی های دیگری که در اطراف ما هست نیز بر همین صورت است . این است واقعیتی که ما را احاطه کرده است : بعضی از ادراکات و احساسات فعلی و عملی خود به خود با گروهی از ادراکات تصویری و مجازی تکمیل می شود و در مجموعه ای مستقل پیوسته به یکدیگر تجلی می کند ، که ما آنها را اشیاء موجود می نامیم . افراد آدمی این عمل تکمیل ادراکات حسی را به درجات گوناگون و با روشنی کمتر یا بیشتر انجام می دهند . به همین جهت است که آن افراد را با وسقهای زیرک یا کمهوش ، احمق یا کاردان ، و عاقل یا جاهل توصیف می کنیم .

به عقیده من ، در مورد اشیاء و موضوعات علم نیز ، نمی توانیم واقعاً معنای دیگری جز آنچه برای مفهوم واقعاً

موجود» بیان کردیم، معنای دیگری تصور کنیم. برای زیستشناسی و زمینشناسی و نجوم به آسانی می توان ثابت کرد که مسئله از این قرار است. زیستشناسی انواع زنده جدایی چندانی از گونه های تفکر زندگی روزانه ندارد. دیرین زیستشناسی و زمینشناسی، دران هنگام که از اموری سخن می گویند که هزارها یا میلیونها سال پیش از این بر روی زمین صورت گرفته است، آنچه را که واقعاً آزموده شده، با ملاحظات و مشاهدات تصویری و اصولاً ممکن بشر امروزی که به فقرا برده شده و بران زمان بسیار دور منطبق شده باشد، تکمیل می کنند. شاید در مورد نجوم مطلب کمی غامضتر باشد، ولی، اگر درست سخن بگوئیم، احکام و قضایا، جز از لحاظ ارتباط با مشاهدات و ملاحظات خیالی و تصویری، معنای دیگری نخواهند داشت. با این امر آشنایی داریم که سخنانان برای توده مردم عادت دارند که در سخنرانیهای خود مطالبی از این قبیل بگویند: اگر کسی در هواپیمایی نشسته باشد، و با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت پرواز کند، برای آنکه به فلان ستاره برسد، فلان اندازه وقت لازم دارد.

حال به اشیاء و موضوعات فیزیک توجه می کنیم. آنچه در این مورد، از لحاظ معرفتشناختی مایه ناراحتی ما می شود، نگرانی درباره این امر است که آیا اصولاً در این حالت امکان تصور ملاحظات خیالی و تصویری هست که «وجود واقعی» این اشیاء بر آنها بنا شود یا نه. این نگرانی بیجهت نیست، و از ظرافت و خردی ساختمانهای فرض شده بر می خیزد. شبکه فضایی یک بلور یا اتم بور را با هسته و مدارهای الکترونی به هم بافته آن در نظر بگیرید. نمونه های به مقیاس بزرگ این چیزها را در همه جا می توان دید و آنها را آزمود. آیا برای ملاحظه و مشاهده عملی یا تصویری همین چیزها در مورد خود اتم یا الکترون راهی هست و کاری می توان کرد که با پدیداری (قابلیت رؤیت) و لمس پذیری نمونه های با مقیاس بزرگ شبیه باشد؟

می دانید که از لحاظ پدیداری دشواری از کجا بر می خیزد. می دانید که این ساختمانها خردتر از آنند که به وسیله نوری که با چشم ما قابل رؤیت است تصویری سازند. کارامدی میکروسکوپ حدی دارد؛ چه تنها

ساختمانهایی که خردی آنها کمتر از طول موج نور نباشد ممکن است تا حدی پدیدار شوند. در مورد اشیاء مورد بحث، نور متعارفی چندین هزار بار در شترازان است که بتواند ساختمان آنها را آشکار سازد. باید نور ظریفتری را به کار ببریم که اشعه ایکس با موج کوتاه است. و با این اشعه نیز یک مورد است - شبکه فضایی بلور - که با موفقیت توأم می شود و به ما حق می دهد که سؤال از پدیداری آن را به صورت مثبت جواب بدهیم. شکل پراشی یک بلور که توسط لایوئه با اشعه ایکس تهیه شده، کاملاً شبیه است به شکل پراشی که از یک شیء میکروسکوپی واقع در سطح کانونی تهیه می شود. درست است که ما غنمی نداریم که عملاً بتواند از آن یک تصویر بسازد؛ ولی می توانیم بدون اشتباه استدلال کنیم که ماهیت تصویر چگونه باید باشد، و از این طریق، به صورتی رضایتبخش، از مشاهده واقعی صرف نظر کنیم.

حال ببینیم در مورد اتوم مسئله از چه قرار است. نمودار لایوئه، تا حدی، بصیرت مستقیمی درباره وضع قرار گرفتن الکترونها در داخل اتوم به ما می دهد. اتومها

در نقاط تقاطع شبکه قرار گرفته اند، و از این می توان استنباط کرد که آنچه پراکنده می شود (بنابراین نظریه، الکترونها) وسعت فضایی و ترتیب قرار گرفتن معینی دارد؛ ولی بدبختانه، پس از آنکه این تجزیه و تحلیل فضایی بسیار ظریف را به دست آوردیم، نقص دقت در وسایل تحلیل نسبت به زمان، همچون سدی در برابر پیشرفت بیشتر قرار می گیرد. نمی توانیم دلیل مستقیمی از توزیع لحظه ای «ماده» در حال پراکنده شدن، به دست بیاوریم، بلکه تنها چیزی که به دست می آوریم توزیع میانگین است برای مدتی از زمان، که دران الکترونهای مودل بور چنان فرض می شود که دور های بسیار زیاد زده اند و همه ناحیه فضایی مجاور هسته را زیر پا گذاشته اند (چه مدارها درست متناوب نیستند، بلکه حرکاتی شبیه به تقدیم اعتدالین و دوران حسیض خورشیدی دارند). بنابراین ما در اینجا کاری به این نداریم که عملاً افراد الکترون را در نقطه های معین جا دهیم، و نه حتی اینکه شکل مدار آنها را مشخص سازیم. اگر «ماده» در حال پراکنده شدن، پیوسته در فضا به صورت پخشیدگی توزیع شود همین

اثر را خواهد داشت.

البته مشاهده واقعی، که اعتقاد ما به وجود حقیقی مدار الکترونها باید بران بنا شود، ضرورتی ندارد که مشاهده بصری و شبیه به عمل دیدن باشد. می‌توانیم بگوییم که الکترونها، ازان جهت که مراکز میدان هستند، طبعاً ممکن نیست که به صورت مستقیم «دیده شوند». آنچه در مورد آنها قابل مشاهده است میدان آنها است. بنابر تجربه‌های با چیزهای غیر میکروسکوپی از قانونی که بر میدان بارهای برقی متحرک حکومت می‌کند آگاهیم، و نیز از قوانینی که بنا بر آنها الکترونها در میدان خارجی برقائسی حرکت می‌کنند اطلاع داریم، و این اطلاع اصولاً از تجربه‌های با اشعه کاتودی حاصل شده است. اظهار این که واقعاً چنین الکترونها، بدان صورت که در اشعه کاتودی با آنها آشنا شده‌ایم، در این مدارهای خرد حرکت می‌کنند، نمی‌تواند معنی دیگر جز این داشته باشد که آنها بروفق همان قوانین حرکت می‌کنند و همچون در مورد اشعه کاتودی، میدانی آنها را احاطه کرده است. چه در این حالت نیز، الکترون در ذهن ما

چیزی جز مرکز میدانی نیست که از طریق خاصی در تحت تأثیر يك میدان خارجی قرار گرفته است. حالا بهتر است به طرح این سؤال بپردازیم: آیا با ثبت کردن میدان ثناب برقائسی، که يك اتم مفرد را احاطه می‌کند، علی‌الاصول امکان آن هست که دورانه‌های الکترونها را بدان صورت که در نظریه بور توصیف شده استنباط کنیم؟ می‌دانید که پاسخ این سؤال منفی است. و این دانستن هیچ ربطی به این ندارد که شخص ثبت میدانی يك اتم فردی را ممکن بداند یا نداند. نه تنها مدارها از «قوانین متعارفی روانبرق» تبعیت نمی‌کنند، بلکه میدان نیز با آنچه انتظار می‌رود که چنان باشد کاملاً متفاوت است. از بسامدهای دیگری ساخته شده است کاملاً جز بسامدهایی که فرض می‌شود دورانه‌های الکتریکی با آن بسامدها بوده باشد. اثر میانگین حاصل شده از همکاری چند اتم برای نمایاندن این اختلاف، که در نظریه بور از همان آغاز پذیرفته شده بود، کفایت می‌کند.

به محض آنکه از این وضع امور آگاه شویم، سؤال معرفتشناختی «آیا الکترونها واقعاً در مدارهایی در

اثر را خواهد داشت.

البته مشاهده واقعی، که اعتقاد ما به وجود حقیقی مدار الکترونها باید بران بنا شود، ضرورتی ندارد که مشاهده بصری و شبیه به عمل دیدن باشد. می توانیم بگوییم که الکترونها، ازان جهت که مراکز میدان هستند، طبعاً ممکن نیست که به صورت مستقیم «دید» شوند. آنچه در مورد آنها قابل مشاهده است میدان آنها است. بتایر تجربه های با چیزهای غیر میکروسکوپی از قانونی که بر میدان بارهای برقی متحرک حکومت می کند آگاهیم، و نیز از قوانینی که بنا بر آنها الکترونها در میدان خارجی برقاطی حرکت می کنند اطلاع داریم، و این اطلاع اصولاً از تجربه های با اشعه کاتودی حاصل شده است. اظهار این که واقعاً چنین الکترونها، بدان صورت که در اشعه کاتودی با آنها آشنا شده ایم، در این مدارهای خرد حرکت می کنند، نمی تواند معنی دیگر جز این داشته باشد که آنها یروفق همان قوانین حرکت می کنند و همچون در مورد اشعه کاتودی، میدانی آنها را احاطه کرده است. چه در این حالت نیز، الکترون در ذهن ما

چیزی جز مرکز میدانی نیست که از طریق خاصی در تحت تأثیر یک میدان خارجی قرار گرفته است. حالا بهتر است به طرح این سؤال بپردازیم: آیا با ثبت کردن میدان تناوب برقاطی، که یک اتم مفرد را احاطه می کند، علی الاصول امکان آن هست که دورانیهای الکترونها را بدان صورت که در نظریه بور توصیف شده استنباط کنیم؟ می دانید که پاسخ این سؤال منفی است. و این دانستن هیچ ربطی به این ندارد که شخص ثبت میدانی یک اتم فردی را ممکن بداند یا نداند. نه تنها مدارها از قوانین متعارفی روانبرق تبعیت نمی کنند، بلکه میدان نیز با آنچه انتظار می رود که چنان باشد کاملاً متفاوت است. از بسامدهای دیگری ساخته شده است کاملاً جز بسامدهایی که فرض می شود دورانیهای الکتریکی با آن بسامدها بوده باشد. اثر میانگین حاصل شده از همکاری چند اتم برای نمایاندن این اختلاف، که در نظریه بور از همان آغاز پذیرفته شده بود، کفایت می کند.

به محض آنکه از این وضع امور آگاه شویم، سؤال معرفتشناختی «آیا الکترونها واقعاً در مدارهایی در

درون اتم وجود دارند؟ باید با يك قطعه جواب داده شود، مگر اینکه بگوییم طرح این سؤال اساساً بی‌معنی است. حقیقت این است که، اگر شخص یقین داشته باشد که اثری که با آن چیزی وجود خود را آشکار می‌سازد، در صورتیکه آن چیز موجود باشد، محققاً قابل مشاهده نیست، دیگر پرسیدن از وجود واقعی آن چیز پرسش بی‌بهره‌ای است. علی‌رغم پیشرفت اندازه‌نابذیری که برای ما از نظریه بور فراهم آمده، مایه کمال تأسف است که استعمال موفقیت‌آمیز و طولانی مودلهای آن ظرافت نظری احساس ما را در مورد چنین پرسشهایی از میان برده است. نباید در این امر که لازم است بار دیگر این ظرافت را باز گردانیم و کندی احساس را از میان ببریم، هیچ تردیدی به خود راه دهیم، و گرنه در پذیرفتن نظریه‌های تازه که اکنون در شرف جانشین شدن به نظریه بور هستند، دچار شتابزدگی می‌شویم، و چنان می‌پنداریم که به هدف رسیده‌ایم در صورتیکه هنوز بسیار از آن دوریم.

فقد آن ندارم که این نظریه‌ها را، حتی از لحاظ

بیان اساسی‌ترین خصوصیات آنها بر خواننده عرضه ندارم، آنچه در صدد آن هستم، دیدگاه جدیدی است که هنگام پیدایش آنها آشکار شده و از لحاظ فلسفه نتایج قابل ملاحظه‌ای دارد. حد کارآمدی میکروسکوپ را که پیش از این در باره آن سخن گفتم به خاطر بیاورید. پارچهای را در نظر بگیرید که چشمه یا فاصله میان تارهای آن مثلاً 100 \AA باشد. از اینجا که نور مرئی طول موج $\lambda = 4000$ چند 10000 آنکستروم دارد، چشمه‌های آن پارچه قابل رؤیت نخواهد بود، تنها بدان جهت که چنین ساختمان ظریفی نمی‌تواند بر روی عاملی چنان زیر و درشت تأثیر کند. ولی اگر اشعه ایکس را با $\lambda = 1 \text{ \AA}$ به کار ببریم، بدون دشواری موفق خواهیم شد. این حد مشاهده امری نسبی است، و به ظرافت نور استعمال شده بستگی دارد. اکتشاف (یا اکتشاف ادعایی) جدید که می‌خواهم از آن سخن بگویم، به این امر قائل است که حدی مطلق

۱- Å حرف اول نام آنکستروم فیزیکدان سوئدی است، و آن را برای نمایاندن واحد طولی برابر با يك ده ملیونم میلیمتر به کار می‌برند (حاشیه مترجم انگلیسی).

از همین نوع وجود دارد، و خود طبیعت، بیش از مقدار معینی از جزئیات ساختمانی را، لااقل تا آن جا که اصلاً قابل مشاهده‌ای باشد، شامل نیست، و آنچه در زیر و روی این حد باشد اصلاً موضوع پژوهش علمی نخواهد بود. بعضی از جزئیات باید در طبیعت، که به عنوان يك "كل" به آن نظر می‌کنیم، غایب فرض شود، درست به همان صورت که تنها نور زرد پراشیده به وسیله يك پارچه ظریف مشتمل بر جزئیات ساختمانی آن نیست (و این دلیل آن است که چرا آنها را نمی‌توان در تصویر پراشی کشف کرد).

ولی، این حد "مطلق"، تنها حد "فضایی" نیست - و شباهت با مثالی که آوردیم از این حیث ناقص است. از لحاظ فضا می‌توانیم، علی‌الاصول، به دلخواه دقت و صحت را بالا ببریم - تنها به آن نیازمندیم که از نوری با طول موج کوتاهتر و کوتاهتر استفاده کنیم. حد، در آن واحد، به زمان و مکان هر دو بستگی دارد، و این خود کاملاً رضایتبخش است، زیرا درست همین اتحاد زمان و مکان است که برپایه آن، بنا بر نظریه نسبیت، باید طرزنگرش خود را بر جهان مادی و فیزیکی خویش بسازیم.

برای آنکه مطلب روشنتر شود، به مثالی که پیش از این بدان اشاره کردم باز می‌گردم. با استفاده از اشعه ایکس با طول موج کوتاه، موفق شدیم که حد تشخیص فضایی خود را به ابعاد اتمی برسانیم؛ ولی نقصان زمان برای تشخیص ما را ازان باز داشت که در باره طرز تنظیم الکترونها به چیزی بیش از طرحی مبهم (مبهم از لحاظ زمان) برسیم.^۱

مثال دیگری از نوع کاملاً نظری مثال ذیل است. انرژی اتمی را از طریق اندازه گرفتن بسامد^۲ اندازه می‌گیرند، و راه این اندازه گیری معادله کوآتومی است.

$$E = h\nu$$

برای اندازه گرفتن بسامد به مقداری از زمان نیازمندیم. با در نظر گرفتن این که n نوسان در زمان Δt شمرده شود، چنین خواهیم داشت.

۱- آنچه را پس از این با حرف ریزتر چاپ شده، خواننده‌ای که به مسائل تا حدی فنی علاقه‌ای ندارد می‌تواند در خواندن ترك کند.

۲- اصطلاح "بسامد" (فرکانس) که در اینجا آمده، همان معنی را دارد که در انتقالات بیسیم دارد، ولی بسامدهای اتم معمولاً بسیار بزرگتر است (حاشیه مترجم انگلیسی).

$$v = \frac{n}{\Delta t}$$

که آشکارا با يك خطای احتمالی $\Delta v = \frac{1}{\Delta t}$ همراه است، چه روش شمارش لزوماً مستلزم آن است که يك عدد صحیح به دست آید که این خود در معرض خطایی برابر با $\pm \frac{1}{\nu}$ است. و از اینجا خطای احتمالی انرژی

$$\Delta E = \frac{h}{\Delta t} \text{ می شود؛ پس } \Delta t \times \Delta E = h.$$

درجهٔ بزرگی حاصل ضرب عدم قطعیت از لحاظ انرژی در عدم قطعیت از لحاظ زمان، همان درجهٔ بزرگی ثابت h پلانک است. ولی، از لحاظ نسبیتی، انرژی عامل ترکیب کنندهٔ چهارم حامل انرژی مقدار حرکت است، و زمان عامل ترکیب کنندهٔ چهارم حامل وضعیت. بنابراین رابطهٔ عدم قطعیت را می توان به ترکیب کننده های دیگر نیز انتقال داد، مثلاً:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x = h$$

که در آن p_x مقدار حرکت در جهت x است. بدین ترتیب دو متغیر پیوسته با یکدیگر توأمند که هر يك از آنها در صحت دیگری اثر می گذارد، و حاصل ضرب عدم قطعیت آنها (از لحاظ درجهٔ بزرگی) h است. و اینها را در مکانیک همیلتونی متغیرهای «مزدوج» نامیده اند.

این افکار، که آغاز آنها از هایزنبرگ بوده، از

چپتی مایهٔ خرسندی است، چه دربارهٔ تلاشهای بیحسابی که از راه مشاهدات و ملاحظات لااقل تصویری (اگر عملی و فعّالی ممکن نباشد) برای اثبات صفت وجود واقعی برای طرحهای تفصیلی خود کرده ایم، نسلی خاطری برای ما فراهم می آورد. آشکارا، در بعضی از حالات، به شدنی بودن مشاهداتی که غیر قابل عمل هستند معتقد هستیم، و

به همین جهت است که دچار تناقضهایی شدیم - تناقضهایی از نوع اینکه نور هم خواص تشعشع موجی را دارد و هم تشعشع دانه ای است (و چنانکه می دانیم، همین دشواری برای اشعهٔ کاتودی هم پیدا شده است). ولی، از طرف دیگر، فکرهایزبرگ عمیقاً مایهٔ اشتباه است. به کار بردن همهٔ اصطلاحات و مفاهیمی را که تاکنون مورد استعمال داشته است، بسیار دشوار می سازد. بسیاری از سؤالاتی

را که پیش از این می شده، مایهٔ اشتباه به نظر می آورد. پرسیدن از اینکه انرژی يك دستکاه در لحظهٔ معین چه اندازه است، اکنون بی معنی تصور می شود. ولی آن گاه مسئله ای که شدیداً مورد علاقهٔ ما است، یعنی اینکه انرژی به صورت چپشی از يك انوم به انوم دیگر می ریزد یا

جریان پیوسته دارد، طبیعتاً مایه اشتباه می نماید. وضع و سرعت يك ذره را نمی توان توأماً به صورت صحیح تعیین کرد. پس، چون ذره اکنون به صورت چیزی درمی آید که نمی تواند مسیر معینی را بییماید، سؤال از اینکه ذره بر چه مسیری حرکت خواهد کرد، بدان صورت که تاکنون طرح می شده، مایه اشتباه است. خط فکری جدید آشکارا از این امر جلوگیری می کند که در صدد ساختن طرح یا مودلی براییم که در فضا و زمان ممتد باشد و، به اصطلاح، پیوسته و بدون ابهام آن را برکنند و جای خالی در معرفت فرضی ما باقی نگذارد. شاید جهانی که قابل مشاهده باشد (و جهان دیگر* مورد توجه ما فیزیکدانان نیست) اصلاً پیوسته نباشد. البته، چون با این سؤال روبه رو شویم که آن را به صورت دیگر چگونه نمایش دهیم، هنوز در مقابل معمای ناگشودنی قرار گرفته ایم. عقیده من این است که بالاخره نمی توانیم خود را با جوابی که، در ضمن صحبت، فیزیکدان جوان بسیار پرهوشی به من داد قانع کنیم: از ساختن مودل و تصویر به طور کلی بپرهیز!

بسیار جالب توجه است که دیدگاه جدید، که درباره آن سخن می گوئیم، نخست در وقتی شناخته شد که مودل بسیار معینی از طبیعت را به کار می بردند که پیشامدها را در هر نقطه از فضا و در هر لحظه از زمان، کلاً و بی ابهامتر از هر مودل پیش از آن، معین می کرد. مقصود اشاره به مکایك موجی است. البته این مایه شکستی می نماید. ولی اگر هاینز برگ برحق باشد، و اگر این محدودیت اساسی صحت مشاهده ما واقعاً وجود داشته باشد، مایه تعجب نیست که ما، که با وضع مشابهی در مبحث نور موجی آشنایی داریم، بتوانیم نظریه ای موجی با شایستگی خاصی پیدا کنیم که ازان رو این حد جهانی را بفهمیم.

تنها به این احتیاج داریم که به جای ذره يك موجکروه بگذاریم، و رابطه میان طول موج λ و مقدار حرکت P را چنین بدانیم:

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

برای ساختن چنین گروهی يك فاصله λ مورد نیاز است. اگر طول گروه را Δx فرض کنیم، آن وقت

می‌توان اثبات کرد که نسبت $\frac{\Delta x}{\lambda}$ بایستی مجاز باشد که به اندازه یک واحد تغییر کند (نسبتی که شماره قله های موج را در گروه نشان می‌دهد). بنابراین:

$$\Delta x \cdot \Delta \left(\frac{1}{\lambda} \right) = 1$$

چون طرفین را در h ضرب کنیم، از آنجا که $h \Delta \frac{1}{\lambda}$ همان عدم قطعیت Δp است، چنین خواهیم داشت:

$$\Delta x \cdot \Delta p = h$$

ارتباط ریاضی میان اصل عدم قطعیت و نظریه موجی بسیار ساده است. دشواری در آن است که در مقابل این ارتباط چه وضع فلسفی باید اختیار کنیم. ممکن است به این معتقد باشیم که یا (۱) ماده واقعاً ساختمانی موجی دارد، آنکاه اصل عدم قطعیت یک نتیجه مستقیم آن می‌شود. یا (۲) اینکه چنان بیندیشیم که اصل عدم قطعیت اساسی‌تر است. آنکاه نظریه موجی تنها ساختمانی فرعی می‌شود که برای راحتی در یافتن و نمایش دادن اصل عدم قطعیت ساخته شده است.

رابطه میان اصل عدم قطعیت با نمایشهای قدیمتر نظریه

کوآتوم بسیار عجیب است در اینجا باید به‌خاطر آورد که، اگر درست سخن گفته شود، این اصل از مدتها پیش شناخته بوده است. باید به‌کار پلانک درباره آمار کوآتومی و نیز در این باره اندیشید که وی فضای فاز را به حجره‌هایی تقسیم کرده و بران متبده بوده‌است که آمار را از این حد پیشتر بر آن که نشان دهد نقطه نماینده دستگاه در کدام یک از حجره‌های باز رگی h یا h^3 یا h^4 (که متوالیاً نماینده یک یا سه یا ۴ درجه آزادی هستند) قرار گرفته است، هیچ معنایی ندارد. و این نظر درست مطابق است با اینکه عدم قطعیت h هاینزبرگ را برای هر جفت متغیر مزدوج رسمی بپذیریم. با پیشرفتهای بعدی به تعبیر ذیل تمایل بیشتری پیدا کردیم: در واقع، نقطه فاز در مرزهای حجره‌ها واقع است، و این خود عبارت از کوآتومش حاد است. حال چون به‌خاطر بیاوریم که رابطه عدم قطعیت هاینزبرگ درست مطابق با ابعاد حجره‌ها است - یعنی، به اصطلاح، درست آنها را پرمی‌کند - بسیار هراسان می‌شویم، چه این معادل با نسخ حاد و کامل کوآتومش آن است، از آن جهت که عدم قطعیت درست مطابق است با فاصله میان ترازهای انرژی مجاور.

ولی، با آنکه در ابتدا چنین می‌نماید، کاملاً چنین نیست. چون رابطه عدم قطعیت را در مورد یکی از به اصطلاح «متغیرهای عمل» w و «زاویه متغیر» مزدوج رسمی آن h بنویسیم، چنین خواهیم داشت:

$$\Delta w \cdot \Delta z = h$$

آنچه ما کوآتومش خادمی نامیم، درست عبارت است از منحصر کردن همه z ها (متغیرهای عمل) به انتگرالهای مضاعف h . از طرف دیگر، w ها کمیت‌هایی هستند که نسبت به آنها هر چیز متناوب است و با دوره تناوب ۱؛ یعنی $w + 1$ به همان معنی است که w (درست بدان گونه که زاویه 360° همان معنی را دارد که زاویه 9°). بنابراین ظاهراً بزرگترین «عدم سحت» ممکن Δw عملاً مساوی یک می‌شود که کوچکترین مقدار $\Delta z = h$ با آن متناظر است که برابر با تمام گام یا جهش کوآتوم است. برای آنکه بتوانیم از چیزی شبیه کوآتومش حاد سخن بگوییم، Δz البته باید بسیار کوچکتر شود، و این کاری است که شدنی نیست، مگر آنکه بالاخره اندازه‌های بزرگتری برای Δw فرض کنیم. معنی فیزیکی فرض کردن عدم قطعیتی برای زاویه متغیر که بزرگتر از دوره تناوب باشد، آشکارا این است که کوآتومش حاد خاصیتی نیست که بتوان گفت دستگاهی در یک لحظه معین دارد. خاصیتی است که حتی نمی‌توان آن را بد از یک دورگردش تشخیص داد، بلکه تحقیق در آن پس از آن ممکن است که دستگاه دوره‌های زیاد زده باشد.

اکنون به ملاحظات اصلی خویش باز می‌گردیم. در این شك کردیم که آیا تصاویر دارای جزئیات را،

که به وسیله آنها می‌کوشیم تا ساختمان ماده را قابل تصویر سازیم، می‌توانیم به همان صورت، واقعاً «وجود» بدانیم که اشیاء قابل لمس در اطراف خود، مثلاً سبد میوه را «واقعاً» موجود می‌دانیم. آیا از آن لحاظ که داریشی برای یک رشته از ادراکات هستند که اگر هم عملاً قابل آزمایش نباشند تصویر آنها ممکن است، یا سبد میوه شباهت دارند؟

در بعضی از موارد، مثلاً در شبکه فضایی انومهای یک بلور، مجاز بودیم که به این سؤال جواب مثبت دهیم. ولی شکهای ما به صورتی بسیار زننده با وضعی که نظریه کوآتوم بر ما تحمیل کرده (و در بخشهای آخر کتاب مورد بحث قرار گرفته است) تأیید می‌شود. اگر ادعای «وجود واقعی» بر امکان لااقل تصویر کردن (اگر نه انجام دادن) بعضی از مشاهدات باشد، و اگر مشاهده مورد بحث علی‌الاصول به علت وجود حدی غیر قابل عبور محدود باشد، آنگاه ادعای ما برای «وجود واقعی»، نه تنها از لحاظ مودلهای خاص درون انوم که تاکنون (در پی را ذرفور و بور) سخت به آن چسبیده‌ایم، بلکه

از لحاظ هر مودل دیگری که به صورت رضایتبخش معین و مشخص است، بیهوده است.

در مقابل این وضع نوعید کننده، اجازه بدهید که کلمه تسلیبخشی نیز از دیدگاه فلسفی بگویم. باید به خاطر بیاوریم که هدف نهایی هر طرح و مودل این است که تکیه‌گاه و داربستی برای مشاهده‌ای باشد که قابل تصویر است. جلوگیری از پوشاندن لباس جزئیاتی بر آنها که به هیچ وسیله ممکن قابل ملاحظه و مشاهده نیستند، امری است که مایه تأسفی بیش از آن برای ما نمی‌شود که پیش از آن داشتیم و نتیجه جهل ما بر این مطلب بود که آیا «توپ تنیس میکروسکوپی» الکترون سرخ است یا زرد یا سفید. اگر حکم هاینبرگ صحیح باشد، و اگر در نظر او^۱ چنان بنماید که جاهای خالی در تصویری که از جهان می‌سازیم فراهم می‌آورد که نمی‌توان آنها را پر کرد، آن وقت تنها کاری که باید کرد این است که آن نواحی را که از پر شدن به وسیله اندیشه امتناع می‌ورزند، حذف کنیم؛ به عبارت دیگر، نظری درباره جهان برای خود بسازیم که اصلاً شامل این نواحی نباشد. البته این کار بسیار

آسانی نیست؛ چه نواحی مورد نظر قلمروهایی در مکان یا زمان نیستند (و نه از روی نادانی باید آنها را در درون انوم دانست!)، بلکه در قلمرو اندیشه محض جای دارند. با وجود این، من اعتقاد راسخ دارم که این حذف ممکن است چنان صورت گیرد که به این نتیجه بینجامد که هیچ طرحی از جهان مادی قابل عمل و شدنی نیست. در مورد «رنگ الکترون»^۲ نیز وضع به همین صورت در می‌آید. وضوح فکر الکترونی به صورت جدی تعارض با این امر نداشت که خاصیت این یا آن رنگ داشتن را که میان همه چیزهای قابل ادراک مشترک است، نمی‌توان به الکترون نسبت داد. به همین ترتیب، در مودلها و طرحهای تازه خود، بیش از آنکه بتوانیم به راهنمایی آنها با آرامش خاطر و اعتقاد بیشتر تکیه کنیم، لازم است خوب به معنای آنچه در این در این باره نامربوط است توجه داشته باشیم.

۱- (حاشیه‌ای که در ترجمه انگلیسی افزوده شده). لازم به یادآوری نیست که این مثال يك مثال پنداری است، و هرگز این امر مایه پريشانی خاطر فیزیکدانان نبوده است

از دو عدسی گذشته و در سطوح چهار گانه عدسیها بنابر قانون سنل تغییر جهت داده است، نشان می دهد.



شکل ۱

فرما، از دیدگاهی کلیتر، رفتار يك شعاع نورانی را به صورت دیگری خلاصه کرده است. نور، در ضمن عبور از محیطهایی که چگالیهای نوری آنها با یکدیگر متفاوت است، با سرعتهای مختلف حرکت می کند، و راهی که می بیناید به صورتی است که گویی این راه را مخصوصاً انتخاب کرده تا در کوتاهترین مدت ممکن به نقطه ای که رسیده است برسد. (باید به عنوان معترضه گفته شود که هر دو نقطه واقع بر مسیر شعاع نورانی را می توان همچون نقطه های مبدأ و مقصد حرکت تصور کرد.) هر انحراف از راهی که شعاع عملاً انتخاب کرده

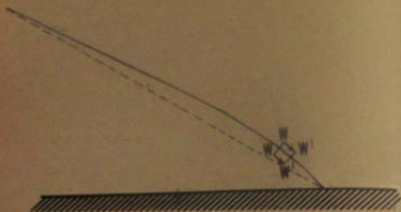
VIII

اندیشه اساسی مکانیک موجی

هنگامی که شعاعی نورانی از يك دستگاه نوری، همچون دوربین یا عدسی دوربین عکاسی می گذرد، به محض آنکه به هریك از سطوح منعكس كننده یا منكسر كننده می رسد، امتداد آن تغییر پیدا می کند. اگر دو قانون ساده را که بر تغییر جهت حکومت می كنند بدانیم، می توانیم راهی را که نور طی می کند توصیف كنیم. یکی از این دو قانون انكسار است که حدود سیصد سال پیش توسط سنیل كشف شد؛ و قانون دیگر قانون انعكاس است که تقریباً دو هزار سال پیش ارشمیدس آن را می دانسته است. شکل ۱ مسیر شعاع نورانی AB را که ۱- خلقی است که مؤلف هنگام دریافت جایزه نوبل در تاریخ ۱۲ دسامبر ۱۹۳۳ در سنو کولم ایراد کرده است.

است، سبب تأخیری در رسیدن به مقصد می‌شود. این را اصل حداقل زمان فرما می‌نامند. این بیان با حکمی بسیار خلاصه رفتار کلی شعاع نور را تعیین می‌کند، و از جمله آن است حالتی که دران ماهیت محیط، نه به صورت ناگهانی، بلکه به صورت تدریجی از نقطه‌ای به نقطه دیگری تغییر می‌پذیرد. جو محیط بر کره زمین مثالی از این است. هنگامی که شعاع صادر از خارج جو وارد آن می‌شود، از آنجا که به تدریج وارد طبقات پایینتر و چگالتز جو می‌شود، سرعت آن کاهش پیدا می‌کند. و با آنکه اختلاف سرعت انتشار در دو قشر مجاور جو ناچیز است، باوجود این در این اوضاع و احوال اصل فرما مقتضی آن است که شعاع نورانی به طرف زمین خم شود (شکل ۲)، چه با چنین شدن مدت درازتری از فقرهای مرتفعتر «سریعتر» عبور می‌کند و زودتر از مدتی به مقصد خود می‌رسد که اگر خط مستقیم را برای مسیر خود انتخاب کرده بود می‌رسید (خط نقطه چین و مستطیل $w'w''w'''$ را در شکل ۲ فعلاً نادیده بگیرید). بیشتر مردمان از این امر آگاهند که خورشید

هنگامی که در پایین افق است شکل دایره‌ای ندارد بلکه پهن شده است و چنان می‌نماید که قطر قائم آن کوچکتر



شکل ۲

شده است. این نمود نتیجه خمیده شدن شعاع در ضمن عبور از جو زمین است.

بنا بر نظریه موجی نور، آنچه ما به آن نام شعاع می‌دهیم، تنها يك معنای مجازی و پنداری دارد. شعاع اثر فیزیکی يك ذره نور نیست، بلکه يك ساختمان ریاضی محض است. ریاضیدانان اشعه را «مسیرهای قائم بر» جبهه‌های موج می‌دانند، یعنی خطوطی که در هر نقطه بر سطح موج عمود هستند. بنابراین شعاع نماینده چینی

است که نور در آن جهت انتشار پیدا می‌کند و در واقع راهنمای انتشار موج است. (به شکل ۳ رجوع کنید که ساده‌ترین حالت جبهه‌های موج کروی متحدالمرکز یا شعاعهای متناظر با آنها را نشان می‌دهد. شکل ۳ نمایش

حالتی است که در آن شعاع نورانی خمیده است. مایه تعجب است که برای اصل بزرگی با اهمیت فراوان اصل فرما، امکان آن فراهم آمده



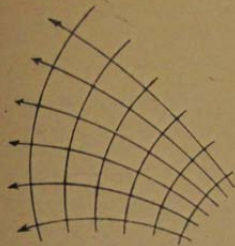
شکل ۳

باشد که به این صورت مستقیم مربوط به خطوطی ریاضی باشد که تنها ساختمانهای ذهنی هستند نه اینکه مستقیماً به خود جبهه‌های موج ارتباط پیدا کند. بنابراین ممکن است کسی به آن تنها به چشم یک کنجکاوی ریاضی‌بنگرد. ولی چنین اندیشیدن اشتباه بزرگی است. چه تنها از دیدگاه نظریه موجی است که این اصل مستقیماً و بلافاصله قابل فهم می‌شود و از اینکه معجزی باشد بیرون می‌آید.

آنچه به آن نام خمیدگی شعاع نورانی دادیم. در نظریه موجی عنوان چرخش جبهه موج پیدا می‌کند و بسیار آسانتر قابل فهم می‌شود، چه این درست همان چیزی است که باید در نتیجه این واقعیت که قسمتهای مجاور جبهه موج با سرعتهای مختلف پیش می‌روند، توقع داشته باشیم! چرخش به همان ترتیب صورت می‌گیرد که چرخش سربازانی که به آنان فرمان «راست‌گردد» داده می‌شود صورت می‌گیرد. در اینجا سربازان هر ردیف گامهایی با طولهای مختلف برمی‌دارند، و آن کس که در طرف راست ردیف است کوتاهترین و آنکه در طرف چپ است بلندترین گام را برمی‌دارد. در مورد انکسار جوی (شکل ۲) قسمت کوچک ww از سطح موج را در نظر بگیرید. این قسمت بالضروره باید «راست‌گردد» به طرف $w'w'$ انجام دهد، چه ناحیه چپ آن در هوایی مرتفعتر و رقیقتر واقع است و بنابراین تندتر از ناحیه راست به پیش حرکت می‌کند که در قشر غلیظتری از هوا قرار دارد.^۱ حال چون

۱- در اینجا توجه خواننده را به نکته‌ای جلب می‌کنم که در آن باره مفهوم سنل نارسا است. شعاع نوری که به صورت

این مسئله را بیشتر از نزدیک مورد مطالعه قرار دهیم ، به



شکل ۴

این نتیجه می‌رسیم که حکمی که با اصل فرما بیان می‌شود عملاً با این حکم پیش پا افتاده و آشکار شبیه است که چون سرعت نور از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌پذیرد ، جبهه موج باید ، بدان صورت که در مثال ذکر کردم ،

افقی انتشار پیدا می‌کند ، باید افقی بماند ، چه در امتداد افقی ضریب انکسار تغییر نمی‌کند . ولی آنچه واقعاً صورت می‌گیرد این است که شعاع افقی از هر شعاع دیگر بیشتر منحرف می‌شود . بنابراین مفهوم جبهه موج «چرخنده» این امر کاملاً آشکار است .

بچرخد . این را نمی‌توانم اینجا ثابت کنم ؛ ولی می‌کوشم تا نشان دهم که این مطلب کاملاً معقول است .

بار دیگر به مسئله سربازان باز می‌گردیم . برای آنکه ردیف اول صف از ترتیب خارج نشود ، چنان فرض می‌کنیم که دستک درازی در برابر سینه افراد این ردیف قرار گرفته است که آن را با دست درست به سینه خود چسبانده‌اند . هیچ فرمان تغییر جبهی داده نشده ، بلکه تنها فرمان این است که هر فرد به هرتندی که می‌تواند راه برود . اگر وضع زمین ، از نقطه‌ای به نقطه دیگر ، کمی تغییر کند ، آن وقت یا ناحیه چپ یا ناحیه راست سریعتر از ناحیه دیگر پیش می‌رود و این خود به خود مستلزم آن می‌شود که تمام ردیف متناظرأ به راست یا به چپ بچرخد . پس از مدتی این واقعیت مشهود می‌شود که خط پیشرفت ، چون به صورت یک کل به آن نظر شود ، خط مستقیم نیست ، بلکه انحنا می‌یابد معینی را نشان می‌دهد . و این راه منحنی درست همان راهی است که سربازان در امتداد آن به هر نقطه بر سر راه خود ، با در نظر گرفتن وضع و عوارض زمین ، در کمترین زمان ممکن خواهند رسید . با آنکه این

امر ظاهراً عجیب می نماید، در حقیقت هیچ چیز مایه شکستی دران نیست، چه بالاخره، بنا بر فرض، هر سرباز تمام کوشش خود را به کار برده است که هرچه ممکن است تندتر راه برود. و نیز باید توجه داشت که خمیدگی مسیر راهیمایی همیشه به طرفی است که اوضاع و احوال زمین زیرپای سربازان نا مساعدتر است؛ چنان است که در آخر کار بدان می ماند که گویی راهیمایان عمداً، با کج کردن راه خود و دور زدن برگرد آن نواحی که مایه کند رفتنشان می شده، از رفتن در جاهایی که اوضاع و احوال نا مساعد است اجتناب ورزیده اند.

بدین ترتیب، مستقیماً چنان می نماید که اصل فرما جوهرنا چیز نظریه موجی است. پس این که همیلتون روزی به این کشف نظری دست یافت که مدار یک نقطه جرمی متحرک در یک میدان نیرو (مثلاً، سنگی که در میدان گرانش زمین انداخته شود، یا سیاره ای در حرکتش برگردد خورشید) در تحت فرمان اصلی کلتی بسیار مشابه با این اصل است، و بعدها همین اصل به نام کاشف آن نامگذاری شد، حادثه بسیار برجسته ای بوده است. درست

است که اصل همیلتون دقیقاً به این عبارت نیست که نقطه جرمی سریعترین راه را انتخاب می کند، ولی چیزی را بیان می کند که چندان به اصل حد اقل زمان نور شباهت دارد که مایه حیرت می شود. چنان می نمود که گویی طبیعت به یک کار واحد دوبار و به دو صورت بسیار متفاوت دست زده است. یک بار در مورد نور و از طریق ساز و کار بسیار آشکار موجی، و یک بار در مورد نقطه های جرم، با روشهایی که کاملاً اسرارآمیز می نمایند، مگر آنکه شخص آماده برای یاور کردن این امر باشد که در این مورد دوم نیز یک خصوصیت موجی در باطن وجود دارد. ولی در نظر اول این اندیشه غیر ممکن می نموده است. چه قوانین مکانیک دران زمان، برای اجسام با ابعاد مرئی و حتی (در مورد سیارات) با ابعاد بزرگ که نقش «نقطه» های جرمی را ایفا می کرده اند، چندان استقرار یافته و به صورت تجربی به اثبات رسیده بود که تصور چیزی شبیه «ماهیت موجی» برای این گونه اجسام هرگز به خاطری خطور نمی کرد.

کوچکترین اجزای نهایی سازنده در ساختمان ماده،

که به معنای اخص آنها را «نقاط جرمی» می نامیم، در آن زمان جنبه فرضی محض داشت. در آن هنگام که رادبر-آکسبوته کشف شد، و فرصت تلطیف روشهای اندازه گیری برای ما فراهم آمد، امکان تحقیق و تجسس بیشتر در این دانه ها یا ذره ها نیز حاصل شد؛ اوج این پیشرفت‌ها روش بسیار هوشمندانه ج. ت. ر. ویلسون بود که توانست از رد مسیر يك ذره تنها عکسبرداری کند و با عکسهای حجمی آنها را به دقت و صحت اندازه بگیرد. تا آنجا که از این اندازه گیریها نتیجه شده، همان قوانین مکانیکی که در مقیاس بزرگ مثلاً برای سیارات و جزاینها صادق است، در مورد ذرات نیز صدق می کند. بعلاوه، این امر مکشوف شد که مولکول و اتم هیچ کدام را نمی توان آخرین سنگ بنای ماده دانست، بلکه خود اتم نیز يك دستگاه مرکب بسیار معقد و پرمولود و تفصیل است. درباره اینکه اتم چگونه از ذرات ساخته شده، فکری پیدا شد و نتیجه آن ساختن مودلهایی برای اتم بود که بسیار به منظومه سیاره ای آسمانی شباهت داشت. و طبیعی چنان بود که، در ساختمان نظری این دستگاههای

ظریف، نخست همه تلاش در آن باشد که همان قوانینی را که کامیابی آنها در مقیاس بزرگ آسمانی به اثبات رسیده بود، در اینجا نیز حاکم بر امور بداند. به عبارت دیگر، کوشیدیم تا حیات «درونی» اتم را از طریق مکانیک همیلتونی تصور کنیم که، چنانکه گفتیم، اوج آن پیدایش اصل همیلتون بود. در این میان شباهت بسیار نزدیک اصل اخیر با اصل نوری فرما تقریباً به کلی فراموش شد. یا اگر اصلاً توجهی به این امر می شد، این بود که شباهت را فقط سیمای شکست امکیزی از نظریه ریاضی موضوع تصور می کردند.

تصور صحیحی از کامیابی یا ناکامی کوششهایی که برای توضیح ساختمان ماده به وسیله این تصویر اتم مبتنی بر مکانیک رسمی صورت گرفته، می آنکه درست وارد جزئیات شویم، کار بس دشواری است. از يك طرف، اصل همیلتونی مستقیماً خود را در سستترین و قابل اعتمادترین راهنما نشان داد، و چنان شد که لازم می نمود به آن همچون امری مطلقاً ضروری نظر شود. از طرف دیگر، برای بیان بعضی از واقعیتها، لازم بود که «مداخله

گستاخانه (groben Eingriff) اصل موضوعهای کاملاً
نو و غیر قابل فهم را که اوضاع واحوال کوآتومی و اصل
موضوعهای کوآتومی نامیده شده بود، به چشم اغماض
بنگرند. اینها در میان سمفونی مکانیک رسمی همچون
ناهماهنگیهای بزرگ بود - و باوجود این به صورت شگفت
انگیزی با آن سازگار درآمد، و چنان بود که گویی با یک
ساز نواخته می شوند. وضعیت را بازبان ریاضی می توان
چنین بیان کرد: اصل همیلتونی تنها مستلزم این است که
مقداری باید حد اقل باشد، بی آنکه اندازه عددی این
حد اقل را معین کند؛ اصل موضوعهای جدید مستلزم آن
است که اندازه عددی این حد اقل مضرب صحیحی از یک
ثابت جهانی باشد که به نام کوآتوم عمل پلانک نامیده
می شود. ولی تنها مطلب به همین جا ختم نمی شد، و
وضعیت بیش از این نویدکننده بود. اگر بنا بود مکانیک
قدیمی کاملاً از بین برود، این امر قابل تحمل بود،
چه زمینه برای نظریه تازه ای هموار می شد. ولی چنان
پیش آمده بود که ما با مسئله دشوار نجات روح آن روبه
رو بودیم، که نفس کشیدن آن آشکارا در این جهان کوچک

پیدا بود، و در عین حال او را، به اصطلاح، آسوده
خاطر سازیم که به اوضاع و احوال کوآتومی همچون
«مداخله گستاخانه» نظر نکند، بلکه آن را چیزی
بداند که از ماهیت درونی خود وضعیت برخاسته است.
راه رهایی از دشواری عملاً (و دور از انتظار) در
امکانی یافته شد که پیش از این به آن اشاره کردم، یعنی
اینکه در اصل همیلتونی نیز می توانیم تبدیلی یک سازگار
موجی را تصور کنیم که فرض می کردیم در شالوده
پیشامدهای مکانیک نقطه قرار دارد، و درست بدان صورت
که مدت درازی عادت به آن داشتیم که در نمودهای توری
به آن اعتراف کنیم و آن را حاکم بر اصلی که به وسیله
فرما بیان شده است بدانیم. با این کار، البته، راه،
فردی یک نقطه جرمی مطلقاً معنای فیزیکی ذاتی خود را
از دست می دهد، و چیزی پنداری همچون شعاع مفرد نور
می شود. با وجود این «روح» نظریه، یعنی اصل
حد اقل، نه تنها از حمله مصون می ماند، بلکه مرکز
نمی توانیم معنای ساده و درست آن را، چنانکه بالاتر
گفتم، آشکار کنیم، مگر اینکه نظریه موجی را دخالت

دهیم. نظریه جدید در واقع نظریه جدید نیست، بلکه يك گسترش كامل و منظم و حتی می توان گفت صورت جدید نظریه قدیمی با بیانی ظریفتر است.

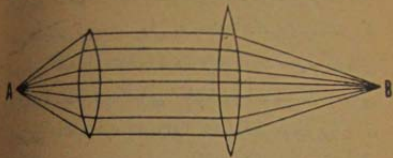
ولی چگونه است که این تعبیر جدید و «ظریفتر» به نتایجی می رسد که آشکارا متفاوت است؟ هنگامی که در مورد انوم به کار برده شود، چگونه می تواند مشکلی را که این دیدگاه جدید آن عاجز بود حل کند؟ چگونه ممکن است که این دیدگاه جدید آن «مداخله کننده» گستاخ را نه تنها قابل تحمل سازد، بلکه آن را مهمان خوشقدم و فردی از افراد خانواده بداند؟

همه این مسائل را می توان از راه مقایسه با نور روشن کرد. با آنکه به حق اظهار کردم که اصل فرماجوهر و عصاره نظریه موجی نور است، آن اصل چنان نیست که تحقیق مفصلتر در فرایند موج را به صورت کارزاید و بیحاصلی درآورد. نمودهای پراش و تداخل را تنها وقتی می توانیم خوب بفهمیم که خصوصیات فرایند موج را دنبال کنیم؛ چه این نمودها نه تنها به این بستگی دارند که موج بالاخره به کجا خواهد رسید، بلکه به این نیز بستگی

دارند که آیا در لحظه معین به آنجا فله موجی می رسد یا وسط موجی. در مقابل روشهای تحقیق قدیمتر، نمودهای تداخل به صورت جزئیات کوچک جلوه گر می شد و از مشاهده می گریخت. ولی به محض آنکه به وسیله نظریه موجی آنها را مشاهده کردند و به صورت صحیح گزارش آنها را دادند، به آسانی امکان آن فراهم شد که طرحهایی تجربی تنظیم شود که در آنها خصوصیت موجی نور، نه تنها در دقیقترین جزئیات بلکه نیز در خصوصیت کلی تجربه، به صورت برجسته نمایش داده شود.

برای توضیح مطلب دو مثال می آورم: نخست مثال يك دستگاه نور شناختی مانند دوربین یا میکروسکوپ است. هدف ما این است که با چنین اسبابی تصویر واضح بسازیم. و این بدان معنی است که می گوئیم همه شعاعهایی را که از يك نقطه شیء خارج می شود دوباره در نقطه ای که نقطه تصویر نام دارد با هم جمع کنیم (شکل ۵). بیشتر چنان تصور می کردند که مشکلی که بر سر راه است تنها از لحاظ نورشناخت هندسی است که عملاً اهمیت فراوان دارد. سپس معلوم شد که، حتی در بهترین

اسبابهای ساخته شده، نقص تجمع اشعه در يك نقطه بسیار بزرگتر ازان است که، اگر در واقع هر شعاع بدون



شکل ۵

بستگی به شعاعهای مجاور آن، درست از اصل فرما تبعیت می کرد، انتظار چنان نقصی را می داشتیم. نوری که از يك نقطه نورانی وارد دستگاهی می شود، پس از عبور از این دستگاه درست به يك نقطه نمی رسد. بلکه در عوض پهنه دایره ای کوچکی را می پوشاند که تصویر پراشی نامیده می شود، و بیشتر ازان جهت دایره شکل است که دیافراگما وعدسیها معمولاً شکل دایره دارند. چه پراش از این نتیجه می شود که برای اسباب امکان آن نیست که همه موجهای کروی را که از يك نقطه نورانی صادر شده اند

دریافت کند. کناره های عدسیها، و گاه دیافراگماها، قسمتی از سطح موج را می برند (شکل ۶) و اگر بتوانیم تغییر

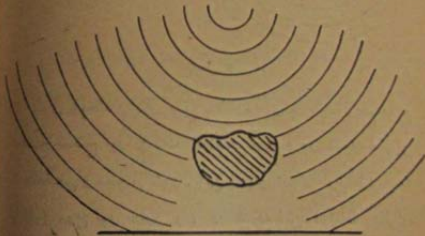


شکل ۶

نا حدی ناپخته را کار ببریم - کناره های بارشده زخم مانع تجمع صحیح نور در يك نقطه می شود و در نتیجه تصویر نامشخص و محو می شود. این محو تصویر ارتباط نزدیک با طول موج نور دارد و، در نتیجه این ارتباط نظری ریشه دار، اجتناب ازان مطلقاً امکان پذیر نیست. این نمود، که در ابتدا به ندرت مورد توجه قرار می گرفت، اکنون بر کارامدی میکروسکوپیهای جدید کاملاً فرمانروایی دارد و به صورتی ناگزیری این کارامدی را محدود می کند،

در صورتیکه همه علت‌های دیگر نقص تصویر را نواستند از میانه بردارند. از لحاظ جزئیاتی که چندان دانه درشت‌تر از طول موج نیستند، تصویر نور شناختی تنهایی تواند به شباهت دوری با اصل برسد، و اما آن جزئیات شیء که ظریفتر از طول موج است، در تصویر با اصل هیچ شباهتی نخواهد داشت.

مثال دوم ساده‌تر است. چشمه نوری را در نظر



شکل ۷

می‌گیریم که درست شبیه به يك نقطه باشد. اگر جسم کدري را میان آن و يك پرده قرار دهیم، خواهیم دید که سایه‌ای بر پرده می‌افتد. برای ساختن سایه به صورت نظری

باید راه هر شعاع نورانی را از نقطه منبع دنبال کنیم و ببینیم که آیا آن جسم کدر مانع گذشتن این شعاع و رسیدن آن به پرده می‌شود یا نه. حاشیه سایه را آن شعاع‌هایی سازد که درست از کناره‌های جسم کدر می‌گذرد. ولی با تجربه معلوم می‌شود که، حتی در آن صورت که چشمه نور تا آنجا که ممکن است کوچک و کناره‌های جسم کدر تا آن حد که امکان دارد تیز باشد، حاشیه سایه‌ای که از جسم کدر بر پرده می‌افتد تیز و مشخص نیست. در اینجا نیز علت همان چیزی است که در مثال سابق بیان کردیم. چنان می‌نماید که جبهه موج با کناره‌های جسم کدر شکافته می‌شود (شکل ۷)، و اثرهای این جراحات است که بر حاشیه سایه دیده می‌شود. اگر شعاع‌های نورانی مستقل از یکدیگر بودند و بدون وابستگی با یکدیگر پیش می‌رفتند، هرگز چنین چیزی اتفاق نمی‌افتاد.

نمودی که به نام پراش خوانده می‌شود، چون به صورت کثی سخن بگوییم، در آن صورت که با اجسام بزرگ سروکار داشته باشیم، چندان جلب توجه نمی‌کند. ولی اگر جسم کدري که سایه می‌اندازد بسیار کوچک

(لااقل از يك بعد) باشد، آنكه پراش دو اثر دارد: نخست اینکه چیزی شبیه به يك سایه واقعی تولید نمی شود و، دوم - كه بسیار جالب توجه تر است - اینکه چنان به نظر می رسد كه جسم خرد یا نازك با نور خود می درخشد و در همه جهات شعاع نورانی می فرستد (ولی غالباً این شعاعها با شعاع نور اصلی زاویه های بسیار كوچكی می سازند). هر كس به «دانه های غبار» موجود در هوا، بر سر راه نور خورشید در اطاق تاریکی كه روزن كوچكی به خارج دارد، آشنا است. و نیز چنین است در مورد مليله كاری حاصل از رشته ها و چیزهایی شبیه تار عنكبوت كه بر سرتپه ای كه خورشید در پشت آن در حال غروب كردن است، یا حتی موی آدمی كه مقابل خورشید نگاه داشته شود كه با نور پراشیده ازان حالت درخشندگی پیدامی كند. پدیداری دود و مه نیز به همین نمود مربوط است. در همه این حالات، نور در واقع از خود جسم كدر خارج نمی شود، بلكه از نواحی بلافاصله مجاور آن یعنی از فضایی است كه دران جسم كدر پرتشانی عظیمی در جبهه موج تابنده فراهم می آورد. جالب توجه و برای بحثی كه

در پیش داریم مهم این است كه فضای پرتشانی همیشه و در هر جهت لااقل به اندازه يك یا چند طول موج وسعت دارد، و این به اندازه كوچكی جسم كدر بستگی ندارد. شاید این مطلب، با توجه به فرایند دیگری از موج، یعنی فرایند سوئی، بهتر دستگیر شود. در اینجا، به علت بزرگی بسیار بیشتر طول موج، كه به سائیشترها و مترها می رسد، سایه همه نماز خود را از دست می دهد و پراش چندان غالب می شود كه اهمیت علی پیدامی كند. صدایی را از پشت يك دیوار یا از يك گوشه يك ساختمان به صورت مشخص می شنویم، در صورتیكه نمی توانیم کسی را كه در پشت دیوار تولید صدا می كند ببینیم.

اكنون از نور شناخت به مكانيك باز می گردیم و می كوشیم تا این شباهت را كاملتر نشان دهیم. همانند نور - شناختی مكانيك قدیمی، روش معامله باشعاعهای نور جدا از يكديگر است، كه تصور می كنند آنها هیچ تأثیری در يكديگر ندارند. و همانند نور شناختی مكانيك جدید موجی، نظریه موجی نور است. مزیت روگرداندن از تصور قدیمی به تصور جدید، آشكارا باید این باشد كه درباره

نمود پراش، یا بیش از آن درباره نمود دیگری که کریه
چندان برجستگی ندارد ولی بسیار شبیه پراش است، بصورت
بیشتری پیدا کنیم؛ چه اگر جز این می بود، مکائیک
قدیمی نمی توانست به صورت رضایت بخشی در آن همه زمان
طولانی مورد قبول باقی بماند. ولی حدس زدن اوضاع و
احوالی که در آنها نمود های مورد غفلت قرار گرفته
برجستگی پیدا می کند، و کاملاً بر فرایند مکائیکی چیره
می شود، و مسائلی را پیش می آورد که با تصور قدیمی
ناگشودنی است، چندان دشوار نیست. این امور ناگزیر
هنگامی صورت می گیرد که تمام دستگاه مکانیکی از لحاظ
وسعت شبهه به طول موجهای «امواج مادی» است، که همان
نقشی را در فرایند مکائیکی ایفا می کنند که امواج توریانی
در نور شناخت دارند.

و این است دلیل آنکه، در دستگاه بسیار خرد انوم،
تصور قدیمی محکوم به شکست شده است. در نمود های
مکائیکی با مقیاس بزرگ، صحت خود را به عنوان تقریبی
بسیار عالی حفظ می کند، ولی آنجا که سروکار با اعمالی
است که در داخل نواحی به بزرگی یک یا چند طول موج

صورت می گیرد، باید به جای تصور قدیمی تصور جدید
جانشین شود. دیدن اینکه اصل موضوعهای اضافی عجیب،
که به آنها اشاره کردم، کاملاً به صورت خود به خود از تصور
موجی جدید برخیزد، در صورتیکه پیش از این لازم بود
آن اصل موضوعها را به صورت مصنوعی به تصور قدیمی
پیوند یزنند تا با فرایندهای درونی انوم سازگار شود و
توضیح قابل تحمیلی از تحلیلات عملاً مشهود آن بدهد،
مایه شکفتی است.

آنچه البته در این باره اهمیت فراوان دارد، این
است که قطر انوم و طول موج این امواج «مادی» فرضی
باید از لحاظ بزرگی بسیار نزدیک به یکدیگر یا درست
مساوی هم باشد. بی شک این سؤال برای شما پیش می آید
که: آیا باید این امر را که در پیشرفت تحلیلی ساختمان
انوم ماده درست به بزرگیهایی از نوع طول موج می رسم،
تنها یک تصادفی بدانیم، یا توجیهی برای این امر می توان
پیدا کرد؟ آیا دلیل بیشتری برای این تساوی وجود ندارد؟
چون امواج مادی چیز کاملاً جدیدی است که این نظریه
مقتضی تصور آن است، و تاکنون در هیچ جای دیگر آن

را باز نشناخته‌اند، ممکن است کسی گمان کند که مسئله تنها فرضی است که به طول موج بخورد و مناسب باشد، و اجباراً آن را برای تأیید پراهمین ساخته‌اند.

باید بگوییم که توافق میان این دو رتبه بزرگی به هیچ وجه زاینده تصادف نیست، و ضرورتی ندارد که در این باره به فرض خاصی متوسل شویم؛ توافق، بنا بر وضع جالب توجهی که پس از این ازان سخن خواهیم گفت، نتیجه طبیعی نظریه است. تجربه‌های را ذر فور و جدویك در باره پراکند اشعه آلفا به صورت قطعی این امر را ثابت کرده است که هسته سنگین اتم بسیار کوچکتر از اتم است، و این بر ما روا می‌دارد که هسته را مرکز جاذبه نقطه مانند در سراسر بحثی که پس از این خواهیم داشت تصور کنیم. به جای الکترون امواج فرضی را وارد کار کردیم که طول موج آنها، ازان جهت که چیزی در باره آن نمی‌دانیم، هنوز مسئله‌ای است که بحث در باره آن بسته نشده است. درست است که از این راه نمادی مانند a وارد محاسبات ما می‌شود که نماینده عددی است که هنوز معین نشده است. ولی در چنین محاسباتی ما به این

نوع کار عادت داریم و هرگز مانع آن نمی‌شود که بگوییم هسته اتم ناگزیر نوعی از نمود پراش را در این موجها ایجاد می‌کند، درست بدان گونه که ذرات شیار با موج نورانی چنین می‌کنند. درست باشد حالت نور، در اینجا نیز وسعت فضای پریشان شده محیط بر هسته، ارتباط نزدیکی با طول موج دارد و رتبه بزرگی آن همان اندازه است. در خاطر داشته باشید که این مسئله اخیر هنوز قطعی نیست و بحث در باره آن بسته نشده است. اکنون به مهمترین گام می‌رسیم: فضای پریشان شده یا h پراش را با اتم یکی می‌گیریم؛ اتم، بدین ترتیب، به صورت چیزی در نظر گرفته می‌شود که جز نمود پراش برخاسته از يك موج الکترونی که هسته اتم سر راه آن قرار گرفته باشد چیزی نیست. پس دیگر این تصادفی نیست که بزرگی اتم از همان مرتبه بزرگی طول موج بوده باشد. این کیفیت خاصیت طبیعی خود اتم است. البته به صورت عددی هیچ يك از این دو را نمی‌شناسیم؛ چه در محاسبه ما همیشه يك ثابت معین نا شده باقی می‌ماند که آن را h می‌نامیدیم. با وجود این می‌توان آن را از دو راه تعیین کرد که هر يك

ازان دو دیگری را وادسی می کند . با این است که برای a آن مقدار را قبول می کنیم که به صورت کمی جوابگوی آثار حاصل شده به وسیله انوم، مخصوصاً خطوط طیفی باشد که می توان آنها را با کمال دقت اندازه گرفت؛ و یا این است که اندازه a را چنان می گیریم که به حالت پراش اندازه درستی را بدهد که از روی شواهد دیگر باید برای انوم چنان توقع داشته باشیم . این دو راه تعیین a (که البته ازان دو دومی قطعیت کمتر دارد ، چه جمله « بزرگی انوم » تا حدی نامعین و غیر قطعی است) با یکدیگر توافق کامل دارند . ثالثاً و اخیراً ، باید در نظر داشت که نابی که نامعین باقی مانده است ، در واقع بُعد فیزیکی « طول » را ندارد ، بلکه بعد « عمل » را دارد که حاصل ضرب انرژی در زمان است . آنگاه این وسوسه پیدا می شود که به آن ارزش عددی ثابت جهانی کوانتوم عمل پلانک داده شود ، که از روی قوانین تشعشع حرارت با صحتی مطلوب بار دیگر به روش نخستین (و صحیحترین) تعیین a باز می گردیم .

پس ، از لحاظ کمی ، نظریه با حد اقلی از

فرشهای جدید جوابگوی هدف خویش است . مستلزم یک ثابت واحد قابل حصولی است که تنها به آن باید یک اندازه عددی نسبت بدیم که آن پیش با آن ، در نظریه کوانتوم ، آشنایی کامل داشته ایم ؛ و این برای آن است که ، اولاً به حالت های پراش و ترکیب های خاص آنها را بدهیم و بدین وسیله یکی شناختن آنها را با انوم امکان پذیر سازیم ، و ثانیاً همه آثاری را که از انوم حاصل می شود ، و تشعشع کردن نور را از آنها ، و انرژی لازم برای یونش و غیره و غیره را با صحت کمی محاسبه کنیم .

من کوشیدم تا برای شما ، به آسانترین طریق ممکن ، آن مفهوم اساسی را که نظریه موجی ماده بران بنا شده است توضیح دهم ، ولی باید اعتراف کنم که ، برای احتراز از این که موضوع بحث از آغاز در نظر شما شامش جلوه گر شود ، آن را تا حدی آراستهام . البته منظورم این نیست که تمامیت نتایج به دست آمده از نظریه ، با آنچه از تجربه استخراج شده تمایزی پیدا کرده است ، بلکه منظور بیشتر سادگی و نبودن دشواری در سلسله استدلالی

نمودهای پراش و تداخل، که همین ذره ها در برابر
چشمان ما با کمال وضوح ایجاد می کنند - یعنی از راه
تجربه در مقیاس بزرگ و نه تنها دران تصورات درون
انوم که بیشتر ازان بحث شد - ضرورت دارد. درست است
که می توانیم با هر حالت فردی مشخص، بدون دوسیمای
متناقض که از لحاظ نتیجه هر تجربه به انتظارات مختلف
می انجامد، بحث کنیم - ولی با مفاهیم قدیمی و محبوب و
در ظاهر ضروری، مانند «واقعاً» و «فقط ممکن»،
نمی توانیم پیش برویم. نمی توانیم بگوییم که واقعاً چه
هست و واقعاً چه پیش خواهد آمد، بلکه تنها این را
می توانیم بگوییم که در هر حالت مشخص چه چیز قابل
مشاهده است. آیا باید خود را با همین چیز، به عنوان
سیمایی ابدی، راضی نگاه داریم؟ علی الاصول آری. به
هیچ وجه ادعا کردن این امر چیز تازه ای نیست که
بگوییم، علی الاصول، هدف نهایی علم صحیح باید منحصر
به توصیف آنچه واقعاً قابل مشاهده است بوده باشد. تنها
چیزی که مورد بحث است این است که آیا باید از این
پس، از ارتباط دادن توصیف با فرضی در باره ساختمان

واقعی جهان، که پیش از این به آن عادت داشته ایم
خود داری کنیم یا نه؟ امروز تمایل عمومی بر این خود
داری اصرار می ورزد. ولی گمان من این است که اگر
چنین کنیم، امر را تا حدی ساده تر از آنچه باید
گرفته ایم.

ما بلیم که وضع حاشر معرفت خودمان را به صورت
زیر توصیف کنم: شعاع نورانی یا رد ذره، متناظر با یک
پیوستگی طولی فرایند انتشار (یعنی در امتداد گسترش)
است؛ جبهه موج، از طرف دیگر، متناظر با یک پیوستگی
عرضی، یعنی عمود بر امتداد گسترش است. هر دو پیوستگی
بدون شك واقعی است. یکی با عکسبرداری از رد حرکت
ذره به ثبوت رسیده، و دیگری با تجربه های تداخل.
تاکنون توانسته ایم این هر دو را با هم در یک طرح یکنواخت
وارد کنیم. تنها در حالت های حدی است که پیوستگی عرضی
یعنی کروی - یا طولی - یعنی شعاعی - چنان خود را غالب
نشان می دهد که معتقد می شویم که می توانیم تنها به طرح
موجی یا طرح ذره ای اکتفا کنیم.

که این مفهوم در مکاتیک کوآتومی کسب کرده - با
 پیش از آن از دست داده - سخن خواهیم گفت - مقصود این
 است که : ذره عنصری يك فردیست ؛ آن را می توان
 باز شناخت ، فاقد « هائی » است ، این امر بر هر فیزیکدان
 معلوم است ، ولی در چیز هایی که برای غیر متخصصان
 نوشته شده کمتری به این مطلب توجه کرده اند . در زبان فنی
 این امر شبیه این است که گفته شود که ذره از يك آمار
 مودل نو « اطاعت می کند » ، خواه آمار اینشتین - بور
 باشد خواه آمار فرمی - دیرک . از ضروریات این طرز تصور ،
 که البته آشکار نیست ، این است که وصف « این » به صورت
 کاملاً مناسب قابل تطبیق بر ، مثلاً ، الکترون نیست ،
 مگر آنکه احتیاط تمام به کار برده شود ، و گاه اصلاً
 قابل تطبیق نیست . غرض من توضیح این نکته است و توجه
 به آن چنانکه شایسته آن است . برای آنکه راه ورود به
 این بحث هموار شود ، بهتر آن دانسته ام که در قسمتهای
 ۲-۵ به طور خلاصه آنچه را درباره ذره و موج در فیزیک
 جدید گفته می شود ، بیاورم .

IX

ذره عنصری چیست؟

۱. ذره يك فرد نیست

اتومیکری ، در آخرین صورت خود ، به نام مکاتیک
 کوآتومی خوانده شده است . چندان وسعت دامنه پیدا
 کرده است که ، علاوه بر ماده متعارفی ، هر گونه تشعشع و
 از جمله نور و به طور خلاصه هر نوع انرژی را ، که ماده
 متعارفی يك نوع آن است ، شامل می شود . در شکل کنونی
 نظریه ، « اتومها » عبارتند از الکترونها و پروتونها و
 فوتونها و غیره . اصطلاح اتوم بسیار عاقلانه برای اتومهای
 شیمیایی نگاه داشته شده ، گویانکه اکنون نام بی سیمایی
 پیش نیست .

در این بحث از ذره عنصری و بالاخص از سیمایی

۲. نظرهای رایج: ملغمه شدن ذره‌ها و موجها

تصویری که از جهان مادی می‌ساختیم، از دو نوع «قماش» بوده است: موجها و ذره‌ها. اولی بیشتر - اگر بگوییم انحصاراً - با امواج امرزی بر قاطبیسی مکتوبی نمایانده می‌شود که امواج رادیو و نور و اشعه کاما همه را شامل می‌شود. اجسام مادی را چنان تصور می‌کردند که از ذره‌ها ساخته شده اند. و نیز با فواره‌های ذرات آشنایی پیدا شده است که آنها را به نام اشعه ذرات نامیدند. و از این قبیل است اشعه کاتودی، اشعه بتا، اشعه آلفا، اشعه آنودی، و غیره. ذره‌ها از خود موج صادر می‌کنند و امواج را جذب می‌کنند. مثلاً، شعاع کاتودی (الکترونها)، چون در نتیجه تصادم با اتمها کند شوند، اشعه ایکس از خود صادر می‌کنند. ولی، تمایز میان ذره و موج را چنان آشکار می‌شناختند که تمایز میان یک و بولون و صدای آن را می‌شناختند. شاگردی که در ورقه امتحان خود می‌نوشت که اشعه کاتودی موج است، یا اینکه اشعه ایکس فواره‌ای از ذرات است، حتماً نمره بدی می‌گرفت.

در ملز تفکر جدید تمایز از میان رفته است. نشان جهت که کشف کرده اند که همه ذرات خاصیت موجی نیز دارند، و بالعکس. از هیچ يك از این دو مفهوم نمی‌توان چشم پوشید، بلکه باید آنها را باهم ملغمه کرد. هر سبایی که غالب شود، به دلیل خود شیء نیست، بلکه به دلیل اسباب تجربی است که برای آزمودن آن به کار رفته است. مثلاً، یک فواره اشعه کاتودی در اطاق ابر ولسون رد‌های مشخص قطره‌های آب را تولید می‌کند، که اگر در اینجا میدانی مغناطیسی باشد که الکترونها را منحرف کند، این رد و خط سیر به شکل منحنی است، و گرنه قطره‌ها به صورت مستقیم دنبال یکدیگر واقع می‌شوند. اینها را جز به اینکه بگوییم نشانه‌های راههای الکترونها نیستند، به چیز دیگری نمی‌توانیم تفسیر کنیم. ولی همین فواره، پس از قطع کردن لوله باریکی محتوی گره بلور که عمود بر آن قرار گرفته باشد، بر صفحه عکاسی در فاصله‌ای پشت لوله طرحی تصویری به صورت دایره‌های متحدالمرکز بدید می‌آورد. چون به این طرح همچون طرح تداخل

امواج نظر کنیم، می توانیم تمام تفصیل آن را فهم کنیم، و از راه دیگر فهم آن مبستر نیست. در واقع شباهت بسیار زیادی با طرحهای مشابه اشعه ایکس دارد.

این گمان پیدا می شود: آیا فواره مخروطی که به صفحه عکاسی بر می خورد و طرح دایره ها را پدید می آورد، واقعاً اشعه کاتودی است؟ آیا اشعه ثانوی ایکس نیست؟ از این گمان باید چشم پوشید، چه با يك مغناطیس دستگاه دایره ها از میان می رود، در صورتیکه اشعه ایکس چنین نمی شود؛ علاوه بر این، اگر پرده ای سریبی با روزنی بران در جای صفحه عکاسی گذاشته شود، فواره چغای را می توان از فواره مخروطی جدا کرد که هریک از خصوصیات مشخص کننده ذره ای اشعه کاتودی را نمایش دهد: رد های مشخص در اطاق ابر می دهد؛ در شمارگر گایگر-مولتر سبب تخلیه های برقی آشکار می شود؛ و به يك قفس فاراده که بر سر راه آن قرار می گیرد بار برقی می دهد.

مقدار کثیری از شواهد تجربی ما را متقاعد می سازد که خصوصیات موجی و ذره ای هرگز به تنهایی مشاهده نمی شوند، بلکه همیشه با یکدیگر نمودارند؛ سیماهای

مختلف نمود واحد را تشکیل می دهند، و در واقع برای همه نمودهای فیزیکی چنین است. این توانی ناچیز و سطحی نیست. تصور اینکه اشعه کاتودی در آن واحد هم موج باشد و هم ذره، وراثت خاطر کامل فراهیم بی آورد. در نخستین روزهای پیدایش نظریه جدید چنان نظر می دادند که ممکن است به ذره ها همچون لکه های خاصی در موج نظر شود؛ خاص بودن به آن معنی که در رهاشیات برای نقطه ها تصور می شود. بر جنبشهای سفید بر سطح دریای نیمه متلاطم را می توان شبیه به این لکه ها دانست. ولی این طرز تصور به زودی متروک شد. چنان به نظر می رسد که هر دو مفهوم موج و ذره را باید چندان تغییر شکل داد تا از آن دو به يك ملغمه واقعی برسیم.

۳. نظریه های رایج: ماهیت موج

موج را، تا آنجا که می دانیم، نباید همچون موج حقیقی کامل تصور کنیم. درست است که امواج طرحهای تداخلی آزمایشی ایجاد می کنند، و همین تداخل آزمایشی صلیبی است که در مورد نور هر شکلی را از موج بودن نور برانداخت. ولی، اکنون به ما می گویند

تحت تأثیر آن قرار گرفته است بخواهیم ، و هر مثالی که به وصف خطرناك « واقعی » بدیم باز مطلب از همین قرار است . گاه به خاطر آوردن این امر کمال سودمندی را دارد که همه مودلهای کمی یا تصاویری که به وسیله فیزیکدان به منظور معرفتشناختی تصویر می شود، تنها ابزارهای ریاضی لازم برای محاسبه پیشامدها هستند ، ولسی من نمی توانم بگویم که این امر در باره امواج نور بیشتر قابل تطبیق است تا در باره ذرات اکسیرن .

۴. نظرهاى رایج: ماهیت ذره ها (رابطة عدم قطعیت)

از لحاظ تغییری که لازم است در مفهوم ذره داده شود، آنچه بیشتر اهمیت دارد رابطة عدم قطعیت هایزنبرگ است . آنچه ، به اصطلاح ، مکانیک رسمی نامیده می شود ، به این اکتشاف گالیلئو و نیوتون آویخته بود که چیزی که در يك جسم متحرك در هر لحظه با اجسام دیگر محیط بران تعیین می شود ، تنها و به صورت درست شتاب آن است که به تعبیر ریاضی مشتق دوم نسبت به زمان مختصات آن نامیده می شود . بنا بر این ، مشتق اول را ، که عموماً

که به همه موجها ، و از جمله نور ، باید همچون «موجهای احتمال» نظر شود . تنها ابزاری ریاضی هستند که برای محاسبه احتمال یافتن يك ذره در بعضی از اوضاع و احوال به کار می روند ، مثلاً (در مثال فوق) ، احتمال بر خورد يك الكترون به صفحه عكاسی در داخل يك پهنه كوچك خاص . در اینجا با عمل كردن بر يك دانه برومور نقره نقش خود را ثبت می کند . به طرح والکوی تداخلی باید همچون ثبت آماری الكترونهاى بر خورد کننده نظر شود . گاه به موج از این لحاظ همچون موج رهبری کننده اشاره می شود ، که ذرات را در راه خود رهبری می کند و به آنها جهت می دهد . این رهبری را نباید همچون امری قطعی تصور کرد ؛ تنها احتمالی را می سازد . طرح آشکار و مشخص يك نتیجه آماری است ، و محدود بودن آن ، نتیجه شماره عظیم ذرات است .

در اینجا نمی توانیم از اشاره به اعتراضی خود داری کنیم که چندان آشکار است که ممکن نیست برای خواننده پیدا نشود . هر چیز را که بر رفتار فیزیکی چیزی دیگر تأثیر می کند ، نباید از هیچ لحاظ غیر واقعیت از چیزی که

سرعت نامیده می شود، باید در توصیف حالت لحظه ای جسم با خود مختصات آن مندرج ساخت که بر حسب مکان لحظه ای یا «کجایی» (و به اصطلاح منطقی: این) آن است. بدین ترتیب، برای توصیف حالت لحظه ای يك ذره، دو داده مستقل از یکدیگر لازم بود: مختصات آن و مشتق اول آنها، یا این و سرعت. بنابر نظریه جدید، آنچه نیاز داریم کمتر است، و آنچه به دست می آوریم باز هم کمتر. هر يك از این دو داده را می توان با صحت دلخواه به دست آورد، به شرط آنکه هیچ توجیهی به دیگری نشود، ولی هر دو را نمی توان با صحت مطلق اندازه گرفت. حتی نمی توان تصور آن را کرد که هر دو در يك لحظه اندازه های مطلقاً آشکاری داشته باشند. گویی که هر يك دیگری را محو می کند. به عبارت دیگر، حاصل ضرب دانه های عدم صحت متناظر با هر يك از آنها را نمی توان از يك ثابت معین پایینتر آورد. برای يك الکترون، این ثابت، بر فرض آنکه واحدها را سانتیمتر و ثانیه بگیریم، حدود ۱ است. بنا بر این، اگر سرعت يك الکترون با تقریب ۱ سانتیمتر در ثانیه معین شده باشد،

محل آن را باید در پهنای به وسعت يك سانتیمتر معین شده و نامعین در نظر گرفت. شکستی فقط در وجود عدم صحتها نیست، چه ذره ممکن است چیزی باشد یا وسعت مبهم و متغیر، که در داخل آن سرخهای با اختلاف خفیف در نقطه های مختلف وجود داشته باشد. تعیین دقیق محل یا این محتملاً مستلزم يك سرعت مشخص و معین است و بالعکس. عملاً مطلب به صورت دیگر است.

۵. نظرهای رایج: معنی رابطه عدم قطعیت

دو حلقه این حکم عجیب و به طور قطع بسیار اساسی را به قسمت های دیگر نظریه می پیوندند. با اظهار اینکه هر ذره معادل با موج راهنمای آن است، و خصوصاً زمانی جزا آنچه موج راهنما بنا بر دفتر رمز خاصی آنها را نشان می دهد ندارد، به آن دو حلقه می توان رسید. دفتر رمز بسیار ساده است. کجایی یا وسعت موج نشان داده می شود، و دامنه سرعت باز در صف اعداد موجی، «عدد موج» اصطلاحی است برای نمایاندن عکس طول موج. هر عدد موج متناظر است با سرعت خاصی که متناسب با آن است.

این است دفتر رمز. این يك حقیقت آشکار ریاضی است که هر چه گروه موج کوچکتر باشد، (حد اقل) گسترش عدد موج آن وسیعتر است.

و نیز ممکن است روش تجربه را مورد تحقیق قرار دهیم و از آن دو کجایی یا سرعت را معین کنیم. چنین اندازه گیری مستلزم انتقال انرژی میان ذره و اسباب اندازه گیری و در آخر کار خود شخص ناظر است که باید چیزهایی را بر دستکام بخواند. و این خود به معنی يك تداخل فیزیکی با ذره است. اندازه تغییر و پربشانی را نمی توان تاحد دلخواه کم کرد، چه انرژی به صورت پیوسته مبادله نمی شود، بلکه به صورت قطعه قطعه مبادله می شود. این را می فهمیم که، هنگام اندازه گیری یکی از دو چیز، یعنی کجایی و سرعت، هر چه صحتی که در نظر داریم بیشتر باشد، تداخلی که با دیگری پیدا می شود بیشتر خواهد بود. اندازه آن را در داخل يك پهنه ای به حالت محوی و ابهام در می آوریم که با پهنه خطایی که در اولی معجز شناخته شده نسبت معکوس دارد.

در هر دو توضیح طرز بیان نشان دهنده این امر

است که عدم قطعیت یا نقصان صحت بیشتر در معرفت قابل حصول در باره يك ذره است تا در باره ماهیت آن. شك نیست که گفتن اینکه ما کمیت فیزیکی اندازه پذیر را پربشان می کنیم یا تغییر می دهیم، منطقاً ملازم با این امر است که آن کمیت پیش از مداخله ما و پس از آن اندازه های خاصی داشته است، خواه ما آنها را بشناسیم یا نشناسیم، و در توضیح اول، که پای موج به میان می آید، اگر آن را موج راهنما بنامیم، در صورتیکه ذره راهی نداشته باشد، چگونه می تواند آن را راهنمایی کند؟ اگر بگوییم که موج نشان دهنده احتمالی یافتن ذره در A یا B یا C ... است، ظاهراً این گفته مستلزم آن است که ذره در یکی، و تنها در یکی، از این جاها است؛ و برای سرعت نیز چنین می توان گفت. (موج عملاً هر دو احتمال را توأماً نشان می دهد، یکی را از راه وسعتش و دیگری را از راه عدد موجش.) ولی، نظر رایج، کجایی یا سرعت را به عنوان واقعیه های عینی ثابت قبول ندارد. بر کلمه «یافتن» زیاد تکیه می کند. یافتن ذره در نقطه A مستلزم آن نیست که ذره پیش از آن در اینجا بوده است. کمایش

مستعد فهم این مطلب هستیم که اسباب اندازه گیری ما آن را در اینجا آورده یا در فلان نقطه «متمرکز» کرده است، در صورتیکه در همان حال سرعت آن را پریشان کرده ایم. و این بدان معنی نیست که سرعت اندازه ای «داشته است». ما تنها احتمال یافتن این یا آن سرعت را در صورت اندازه گرفتن آن پریشان کرده یا تغییر داده ایم. دلالت ضمنی بر «بودن» یا «داشتن» تصوّر نادرستی است که گناه آن بر گردن زبان است. فلسفه مبتنی بر اثباتگیری به کومک ما می شتابد و می گوید که نباید میان معرفتی که می توانیم از شیء مادی به دست آوریم و حالت کنونی آن تمایزی قائل شویم. هر دو یک چیز است.

۶. نقد رابطه عدم قطعیت

جای بحث در نظر فلسفه اثباتی اینجا نیست. من کاملاً تصدیق دارم که رابطه عدم قطعیت هیچ کاری با معرفت ناقص ندارد. مقدار اطلاعات قابل حصول در باره ذره را در مقایسه با نظرهایی که پیشتر به آن معتقد بودند، تقلیل می دهد. نتیجه این است که آن نظرها باطل بوده است

و باید از آنها دست بکشیم. نباید معتقد باشیم که توصیف کاملتری که آنها برای آنچه واقعاً در جهان فیزیکی می گذرد، در صدد یافتن آن بوده اند، قابل تصوّر است ولی در عمل به آن دسترس نیست. این طرز تصوّر چسبیدن به نظریه قدیمی است. و نیز لزوماً این نتیجه ازان حاصل نمی شود که ما باید از سخن گفتن و اندیشیدن بر حسب آنچه واقعاً در جهان فیزیکی روی می دهد دست برداریم. این برای ما یک عادت ملایم با طبعی شده است که جهان فیزیکی و مادی را همچون حقیقت و واقعیتی تصور کنیم. همه در زندگی روزانه از این طرز تصوّر پیروی می کنیم، و حتی فیلسوفانی مانند اسقف بار کلی که به صورت نظری با این طرز تصوّر به مخالفت برخاسته اند، نیز به همین عادت معتاد بودند. چنین اختلاف نظری سطوح مختلف دارد. علم فیزیک را به آن کاری نیست. فیزیک کار خود را از تجربه روزانه آغاز می کند، و آن را با وسایل عالیت ادامه می دهد. به خود شبیه می ماند، از جنس خود به جنس برتری صعود نمی کند، و نمی تواند وارد سر زمین دیگری شود. گمان من این است که

اکتشافهای فیزیکی نمی تواند به خودی خود قدرت آن را داشته باشد که ما را به ترك عادت تصویر کردن جهان مادی به صورت يك امر واقع مجبور کند.

به عقیده من وضعیت از این قرار است. از نظر فنی، قبلی، مفهوم ذره و زبان فنی مربوط به آن را به میراث برده ایم. این مفهوم نارسا است. پیوسته ذهن ما را به خواستن اطلاعاتی برمی انگیزد که آشکارا معنایی ندارند. ساختمان تخیلی آن سیماهایی را نمایش می دهند که نسبت به ذره واقعی بیگانه است. يك تصویر شایسته نباید با چنین فشاری مایه ناراحتی ما شود؛ باید قابل آن نباشد که تصویری بیش از آنچه هست بسازد؛ باید از الحاقات بعدی جلوگیری کند. بیشتر مردم ظاهراً چنان می اندیشند که چنین تصویری یافت نمی شود. ممکن است کسی به این دلیل و مدرک (که متأسفانه باید بگویم تا زمان نوشتن این مقاله تغییری پیدا نکرده است) اشاره کند که واقعاً چنین تصویری یافت نشده است. با وجود این، گذشته از پیچیدگی اصل مطلب، می توان دلایلی برای این اندیشیدن مسکنی که از فلسفه اثباتی گرفته شده بود و چنین به نظر

می رسید که راه بیرون آمدن از تنگنا است، از همان آغاز به زور قدرت خوراندند. چنان می نمود که ما را از روح جستجوی در پی چیزی که باید فهم واقعی شایسته خلاص می کند؛ حتی به کوششی که در این راه می شد به چشم بدگمانی می نگریست و آن را نمایش ذهنی غیر فنی می دانست. ذهن کودکی که بازیچه خود را (تصویر یا مدل) گم کرده و نمی خواهد بر خود هموار کند که آن بازیچه برای همیشه از دستش رفته است. به عنوان نکته دوم، باید بگویم که ممکن است دشواری، ارتباط بسیار نزدیکی با موضوع اصلی این مقاله داشته باشد، و به همین جهت لازم است بی درنگ به آن بازگردم. نسبت عدم قطعیت معطوف به ذره است. ذره، چنانکه خواهیم دید، يك فرد هویت پذیر نیست. حقاً ممکن است که هیچ وجود فردی قابل تصور نباشد که بتواند جوابگوی خواسته های تصویر شایسته و رسایی که پس از این در باره آن سخن گفتیم بشود.

مجموعه ساختن این نقش فردیت و پیدا کردن کلماتی برای آن به هیچ وجه کار آسانی نیست. يك

نشانه این است که تفسیر مبتنی بر احتمالات، در صورتی که به زبان بسیار فنی ریاضیات بیان نشده باشد، برای بیان اینکه موج از يك ذره خبر می دهد یا از مجموعه ذرات، مبهم می نماید. همیشه کاملاً معلوم نیست که آیا اشاره به احتمال یافتن «ذره» است یا به احتمال یافتن «ذره‌ای»، یا اشاره به عدد محتمل یا میانگین ذراتی است که، مثلاً، در حجم کوچک معین وجود دارد. از این گذشته رایجترین نظر در باره احتمال متمایل به آن است که این اختلافات را از میان بر دارد. درست است که افرازهای صحیح ریاضی برای تشخیص دادن آنها از یکدیگر موجود است. نکته‌ای با سود کثی در کار است که باید آن را توضیح بدهم. روشی برای بحث در باره چند ذره به سال ۱۹۲۶ توسط نویسنده این مقاله معرفی شد. در این روش امواج در فضای چند بعدی، و در يك چند توی N ۳ بعدی - که در آن N شماره ذرات است - به کار برده می شود. تعمق بیشتر به بهبود و تکامل آن انجامید. گاهی که ما را به این بهبود رهبری کرد، اهمیت فراوان دارد. بحث چند بعدی جای خود را به چیزی داد که اصطلاحاً

کوآتومش دوم نامیده می شود، و از لحاظ ریاضی متعادل است با اینکه بحث در حالات $N = 1, 2, 3, \dots$ (تأییدات) چند تو را یکی کنیم و به صورت بحث در يك فورمول سه بعدی درآوریم. این افراز کار بسیار هوشمندانه شامل چیزی است که به اصطلاح آمار جدید نامیده می شود که در باره آن پس از این با بیان بسیار ساده تر سخن خواهیم گفت. این آمار تنها صورت دقیق این نظریه است که امروز به کار می رود و همیشه به کار می رود. آنچه در بحث کنونی ما اهمیت فراوان دارد این است که هیچ کس نمی تواند از نامعین بودن شماره ذراتی که در باره آنها تحقیق می شود اجتناب کند. و به این ترتیب آشکار می شود که ذره‌ها افراد نیستند.

۷. مفهوم يك تکه ماده

اکنون بحثی را در باره ماده و جهان مادی پیش می کشم که از دست ماخ [۱] و برتراند راسل [۲] و دیگران با تحلیل دقیق مفاهیم به آن کشیده شده اند. آنچه خواهم گفت با نظر عمومی اختلاف دارد. ولی ما به مبناً

روانشناختی مفهوم ماده کساری نداریم، بلکه به تحلیل معرفتشناختی آن توجه می‌کنیم. وضع چنان ساده است که کمتر می‌توان برای آن تازگی کامل تصور کرد؛ بعضی از اندیشندگان مقدم بر سقراط، و از جمله دیموکریتوس [۳] مادی، از مردان بزرگی که از قرنهای هفدهم تا نوزدهم علم را احیا کردند و در قالب نو ریختند، به این نظر نزدیکتر بوده‌اند.

بنا بر این نظر، يك تکه ماده نامی است که به رشته پیوسته‌ای از حوادث می‌دهیم که در زمان در پی یکدیگر واقعند، و آنها که بلافاصله متوالی یکدیگرند علی‌القاعده بسیار به یکدیگر شباهت دارند. حادثه مفرد يك مجموعه در هم پیچیده‌ای است از محسوسات و تصاویر حافظه‌ای جلب شده با آن، و از انتظاراتی که به آن دوشمی می‌شود. در مورد يك شیء مجهول، مثلاً لکه سفیدی که در فاصله دور بر راه دیده می‌شود و ممکن است سنگ یا برف یا تمک یا یک گاو یا یک سگ یا یک پیراهن یا یک دستمال بوده باشد، آنچه محسوس است غلبه دارد. از روی تجربه عمومی معمولاً به خوبی می‌دانیم که در داخل رشته متوالی

حوادث چگونه تغییراتی را که از حرکات جسم خودمان، و بالخاصه از تغییر جهت دید حاصل می‌شود، حذف کنیم. به محض آنکه ماهیت شیء مورد نظر شاخته شد، تصویر و انتظارات غلبه پیدا می‌کند. آنچه به انتظارات وابسته می‌شود عبارت است از امور حسی همچون سختی و نرمی و سنگینی و انعطافپذیری و ذیری و ساقی و نظایر آنها که همراه با تصویر دست زدن و لبس است؛ و نیز همه حرکات طبیعی یا صداهایی چون وق وق و میو میو و گریختن و تکان خوردن و نظایر آنها. باید توجه داشت که از اندیشه‌ها یا ملاحظات خود در باره شیء سخن نمی‌گویم، بلکه منظورم چیزی است که جزء و پارهای از ادراک ما را از آن شیء، یعنی از آنچه آن شیء در نظر ما هست، تشکیل می‌دهد. ولی، حدت کاملاً مشخص نیست. به تدریج که آشنایی ما با يك تکه از ماده زیادتر می‌شود، و مخصوصاً آنکاه که به سیمای علمی آن نزدیک می‌شویم، دامنه انتظارات و توقعات در باره آن وسعت پیدا می‌کند، و بالاخره همه اطلاعاتی را که علم تصدیق کرده است شامل می‌شود، همچون نقطه گداز، حلپذیری، هدایت برقی،

چکالی ، ساختمان شیمیایی و بلوری ، و نظایر اینها . در عین حال ، هر چه شیء مورد نظر ، خواه از طریق علم خواه از طریق استعمال روزانه ، بیشتر بر ما شناخته شود ، هسته حسّی موقّتی عقبتر می رود .

۸. فردیت یا «همانی»

پس از آنکه مقداری از تداعیها و مقارنات سبب درخشدگی بیشتر هسته محسوسات شدند، دیگر به این یکی برای نگاهداری اجزاء مجموعه پیچیده در کنار یکدیگر نیازی نیست . حتی دران صورت که تماس "حواس" ما باشیء موقّتاً قطع شود ، باز هم باقی می ماند . و از این هم بیشتر است : حتی اگر ، با سلب توجه از شیء و برداختن به اشیاء دیگر و فراموش کردن کامل آن هم ، سراسر رشته پاره شود ، مجموعه پیچیده به حالت کمون محفوظ می ماند . البته این امری استثنایی نیست ، بلکه قاعده ای است که - از آن جهت که ما گاهی به خواب می رویم - هیچ استثنایی ندارد . ولی ما وسیله سودمند پر کردن جاهای خالی را پذیرفته ایم . قسمتهای ناقص رشته مربوط به تکه ماده را

که در محیط نزدیک یا دور ما واقع است ، از پیش خود کامل می کنیم تا چنان شود که اوقاتی را که نه مرافق آن تکه هستیم و نه درباره آن می اندیشیم نیز فراگیرد . دران هنگام که شیئی آشنا دوباره در معرض دید ما قرار می گیرد ، آن را معمولاً همچون امتدادی از تلبور سابق آن می داریم و به صورت همان چیز می بینیم . ثبات نسبی تکه های فردی ماده بر جسته ترین سیمای زندگی روزانه و تجربه علمی هر دو است . اگر يك چیز آشنا ، مثلاً يك كوزه سفالی ، از داخل اطاق شما ناپدید شود ، کاملاً اطمینان دارید که کسی آن را از جای خود بر داشته است . اگر پس از مدتی دوباره پدید شود ، ممکن است دچار شك شوید که آیا همان كوزه است یا نه . در مورد چیز شکستنی غالباً فکر می کنیم که دومی همان اولی نیست . ممکن است بتوانید دوباره این شك تصمیمی بگیرید ، ولی در این شك نخواهید کرد که همانی مشکوک معنای غیر قابل تردیدی دارد ، و اینکه جواب بدون ابهامی برای سؤال شما موجود است . اعتقاد ما به پیوستگی قسمتهای مشاهده نشده رشته ها این اندازه محکم است !

۹. تأثیر بر اتومبیکری

در دوره جدید اتومبیکری که با مقالات هابربرگ و دو پروی به سال ۱۹۲۵ آغاز شد، لازم بود که چنان وضع و ملرز تلقی متروک شود. این شکفت اسکیزبرین کنفی بود که از تکامل نظریه حاصل شد، و سیدایی بود که ناچار نتایج بسیار مهمی در پی داشت. اگر بخواهیم اتومبیکری را نگاه داریم، در نتیجه واقعه‌های مشهود از آن ناگزیریم که از سازنده‌های نهایی ماده خاصیت فردیت قابل باز شناختن را حذف کنیم و منکر آن شویم. اتومبیکری همه اعضا، تا آنجا که من می‌دانم، این خاصیت را از پاره‌های مرئی و قابل لمس ماده به اتومها منتقل کرده است که هر يك هر يك از آنها را نمی‌توان دید یا لمس کرد. اکنون ما ذره‌های مفرد را مشاهده می‌کنیم؛ رد آنها را در اطاق ابر و در ماده حساس عکاسی می‌یابیم؛ تخلیه‌های عملاً همزمان را که به وسیله يك ذره سریع در دو یا سه شمارگر حاصل می‌شود که به فاصله چند متری یکدیگر قرار گرفته‌اند ثبت می‌کنیم. با این همه باید منکر این فضیلت برای ذره باشیم که فردی مطلقاً صاحب

شك نیست که فردیت تکه‌های ماده از زمانهای دور از حلقه‌ای سابقه دارد. گمان می‌کنم که جانوران هم تا حدی چنین هستند، و سگی که در جستجوی گلوله پنهان شده خویش است، آشکارا این نوع احساس خود را نمایش می‌دهد. علم آن را امری قطعی تلقی کرده است. چنان آن را تلطیف کرده است که با اطمینان خاطر همه حالات کم شدن ظاهری ماده را شامل شود. این اندیشه که چون پاره جویی بسوزد، ابتدا به صورت آتش و سپس به صورت خاکستر و دود در می‌آید، در برابر ذهن انسان ابتدایی بیگانه نیست. علم آن را اثبات و تأیید کرده است؛ با آنکه ممکن است ظواهر شيء تغییر پیدا کند، ترکیب کنندمهای نهایی ماده تغییر نمی‌کنند. همین امر (با وجود شکنی که که با آن همراه بود و پیش از این بدان اشاره کردیم) اساس تعلیمات دموکریتوس بوده است. او و دالتون هیچ يك در این شك نداشته‌اند که اتومی که در ابتدا در پاره چوب وجود داشته است، پس از آن با در خاکستر است یا در دود.

هویت و قابل بازشناختن است. اگر پیشتر از يك فیزیکدان می پرسیدند که اتومها از چه ساخته شده اند، ممکن بود لبخندی بزند و از پاسخ گفتن پرهیز کند. اگر پرسیده اصرار می ورزید و به حدس می گفت که اتومها ممکن است همچون تکه های خرد تغییر ناپذیر ماده تصور شوند، باز در جواب وی لبخند می زد بدین معنی که چنین حقی نداریم ولی این حدس عیبی هم ندارد. این سؤال بی معنای سابق اکنون معنایی پیدا کرده است. جواب آن به طور قطع منفی است. يك اتوم ابتدایی ترین خاصیتی را که با يك تکه ماده در زندگی عادی همراه می داریم فاقد است. اگر چنین مسئله ای ممکن بود که برای بعضی از فیلسوفان قدیم طرح شود، شاید در جواب می گفتند که اتوم جدید اصلاً چیزی نیست بلکه تنها صورت و شکل محض است.

۱۰. معنی آمار جدید

باید لااقل به این امر مبادرت ورزیم که دلیل این تغییر وضع را به صورتی قابل فهم تر از آنچه در پایان قسمت ۹ آورده ایم بیان کنیم. این امر به آنچه اصطلاحاً آمار

جدید نامیده می شود بشکی دارد. دو آمار جدید وجود دارد. یکی آمار روزهایستین است که تاریکی و روشنایی آن نخست توسط ایشتنین تأیید شد. دیگری آمار فرمی-دیرک است که بر جسته ترین تعبیر آن اصل مکرر پاولی است. دران می گویم که آمار جدید را توصیف دهم و ارتباط آن را با آمار قدیمی رسمی بولتزمان « برای کسانی که هرگز چنین چیزها را نشنیده اند و شاید از معنایی که در این متن به « آمار » داده شده تعجب می کنند، آشکار سازم. مثالی از زندگی روزانه انتخاب می کنم. ممکن است مثال ساده و کودکانه ای به نظر برسد، مخصوصاً از آن جهت که اعداد کوچک را - عملاً ۲ و ۳ - انتخاب کرده ایم تا محاسبه آسانتر شود. صرف نظر از این، مثال کامل است و وضع موجود را کاملاً مجسم می سازد.

سه نوآموز، نوم و دیک و هری، شایسته جایزه شده اند. آموزگار بیش از دو جایزه که به آنان بدهد چیزی در اختیار ندارد. بیش از آنکه چنین کند، می خواهد بداند که اصلاً چند قسم توزیع امکانات پذیر است. این است مسئله ای که می خواهیم در باره آن تحقیق

کنیم) و به دانستن تصمیم نهایی او علاقه‌ای نداریم). محاسبه شماره توزیعهای مختلف يك مسئله آماری است. نکته در این است که جواب این مسئله به ماهیت جایزه بسته است. سه نوع مختلف جایزه سه نوع آمار را مجسم می‌سازد.

(آ) دو جایزه دو سکه یادگاری است که بر یکی تصویر نیوتون و بر دیگری تصویر شکسپیر ضرب شده است. آموزگار ممکن است نیوتون را به هر يك از نوم یا ديك یا هری، و نیز شکسپیر را به هر يك از نوم یا ديك یا هری بدهد. بنابر این سه بار سه، یعنی نه شکل توزیع مختلف ممکن می‌شود (آمار رسمی قدیمی).

(ب) دو جایزه دو سکه يك شیلینگی است (که برای منظور خود آنها را کمیت‌های غیر قابل تقسیم تصور می‌کنیم). ممکن است آنها را به دو نوآموز داد که در این صورت به سومی چیزی نمی‌رسد. علاوه بر این سه امکان سه امکان دیگر نیز هست: و آن اینکه هر دو شیلینگ را به یکی از سه نفر بدهد (آمار پوزیانیستین).

(ج) دو جایزه شرکت در مسابقه فوتبالی است که به هم دستن انجام می‌شود. در این حالت دو تما از پسران می‌توانند در مسابقه شرکت کنند و سومی کنار می‌ماند. در این حالت سه توزیع مختلف حاصل می‌شود (آمار فرمی-دیرک).

باید بگویم که جایزه‌ها نباید نداشته باشند که در هر حالت هر دو مشابه یکدیگرند: پسران نباید حالاتی هستند که در سه ممکن است داشته باشد. بنابر این «دادن نیوتون به ديك» چنین معنی می‌دهد: در سه نیوتون حالت ديك به خود می‌گیرد.

توجه داشته باشید که در هر حالت محاسبه آماری طبیعی و منطقی و غیر قابل تردید است. تنها ماهیت جایزه‌ها آن را معین می‌کند: سکه‌های یادگاری، شیلینکها، عضویت در مسابقه. و اینها از گونه‌های مختلفند. سکه‌های یادگاری افراد متمایز از یکدیگرند. شیلینکها، به هر منظور و مقصود جنبه فردی ندارند، ولی قابل این هستند که به صورت جمع تملک شوند. اگر يك یا دو یا سه شیلینگ داشته باشید، برای شما تفاوت می‌کند، اگر

پسران شیلینگهای خود را با یکدیگر معاوضه کنند، هیچ تفاوتی حاصل نمی شود. ولی اگر یکی از آنان شیلینگ خود را به دیگری بدهد وضعیت تغییر پیدا می کند. عضویت در دسته فوتبال بدین صورت نیست. شما ممکن است عضو دسته باشید یا نباشید. ولی نمی توانید دو بار به آن دسته تعلق داشته باشید.

دلایل تجربی نشان می دهد که محاسبات آماری مربوط به ذراتهای عنصری نمی تواند مطابق نمونه (آ) باشد، بلکه یا باید مطابق نمونه (ب) باشد یا مطابق نمونه (ج). بعضی برانند که برای همه ذرات عنصری اصل نمونه (ج) صلاحیت دارد. چنین ذراتی، مثلاً الکترونها، به عضویت در یک کلوب شباهت دارند؛ غرض عضویت مجرد است نه خود اعضا. هر شخص قابل انتخاب شدن در آن کلوب نمایندگی یک حالت کاملاً مشخصی است که یک الکترون می تواند داشته باشد. اگر شخصی عضو باشد، بدین معنی است که الکترونی یک حالت خاص دارد. بنابر اصل طرد پاولی، هرگز بیش از یک الکترون نمی تواند در یک حالت خاص موجود باشد. تشبیهی که کردیم این مطلب را با

اظهار این که عضویت مکرر بی معنی است. که در اغلب کلوبها چنین است. این مطلب را نشان می دهد. با گذشت زمان فهرست اعضا تغییر پیدا می کند، و عضویت به اشخاص دیگر تعلق می گیرد؛ الکترون انتقال پیدا کرده و به حالت دیگر رفته است. اینکه عضویت از یک به دوم و سیم از دوم به هری برسد و پس علی هذا، بسته به اوضاع و احوال است. آنان ممکن است این نظر را پیشنهاد کنند یا نکنند، ولی هرگز چنان نیست که شکل مطلق داشته باشد. از این لحاظ تشبیه ما کامل است، چه برای یک الکترون نیز چنین است. از این گذشته، کاملاً شایسته است که شماره اعضا را قابل تغییر بدانیم. در واقع، الکترونها نیز تولید می شوند و نابود می شوند.

مثال ممکن است عجیب و زیر و رو شده جلوه گر شود. ممکن است کسی چنین بیندیشد: «چرا اشخاص نمی توانند الکترونها باشند و کلوبهای مختلف حالت های آنها؟ این که بسیار طبیعیت تر است؟» فیزیکی دان متأسف می شود، ولی نمی تواند ملزم کند، و نکته بر جسته درست در این است که: رفتار عملی آماری الکترونها را نمی توان

با هیچ تشبیهی که آنها را به صورت چیزهای صاحب هویت و باز شناختنی نمایش دهد مجسم کرد. به همین جهت از رفتار عملی آماری آنها چنین نتیجه می شود که چیزهای صاحب هویت و باز شناختنی نیستند.

حالت (ب)، که آمار بوز-اینشتین را نمایش می دهد، در میان سایر چیزها، برای کوآتومهای نور (فوتونها) نیز صلاحیت دارد. نیازمند بحث نیست. از آن جهت چندان مایه تعجب و دهشت ما نمی شود که نور یعنی انرژی بر قاطبسی را شامل است؛ و انرژی، در دوران پیش از کوآتوم، پیوسته به صورتی تصور می شده است که تشبیه ما آن را نمایش می دهد، یعنی به صورت چیزی که کمیت دارد ولی فاقد فردیت است.

۱۱. مفهوم محدود هویت

دقیقترین مسئله مسئله حالتها، مثلاً حالت يك الکترون است. البته آنها را نمی توان با مفاهیم قدیمی تعریف کرد، بلکه این تعریف در روشنی رابطه عدم قطعیت مبسوط است. آنچه در پایان قسمت ۶ مورد بحث قرار گرفت، در واقع

مبتنی بر «حالت يك الکترون» است بلکه به «حالت مجموعه الکترونها» منطبق است. چنان است که گویی تمام فهرست اعضای کلوب روی هم رفته باید در نظر گرفته شود یا بهتر بگوییم، چند فهرست صورت متناظر با چند نوع ذره باشد که دستگاه فیزیکی مورد نظر از آنها ترکیب شده است. مقصود از اشاره به این مطلب ورود در جزئیات نیست، بلکه از آن جهت است که چون تشبیه با کلوب را درست مورد نظر قرار دهیم؛ در شکاف دران دیده می شود. نخست اینکه حالات ممکن يك الکترون (که آنها را به اشخاص قابل انتخاب شدن برای عضویت تشبیه کردیم) به صورت قطعی معین و محدود نیستند؛ این حالات به طرز تنظیم - عملی یا خیالی - تجربه بستگی دارند. اگر این طرز تنظیم در دست باشد، آن حالات افراد کاملاً معین شده هستند، در صورتی که الکترونها چنین نیستند. و نیز آنها يك چندتوی کاملاً منظم را تشکیل می دهند - و این دومین شکاف تشبیه است. بدین معنی که سخن گفتن از حالات مجاور در مقابل حالانی که بیشتر از یکدیگر دورند، معنایی دارد. علاوه بر این،

به اعتقاد من اظهار این مطلب درست است که نظم را چنان می توان تصوّر کرد که، بنا بر قاعده، هر وقت يك حالت اشغال شده از اشغال شدن واگذاشته شود، يك حالت مجاور اشغال خواهد شد.

و این توضیح می دهد که، در اوضاع و احوال مساعد، ممکن است رشته های درازی از حالات متوالیاً اشغال شده تولید شود که با آنچه در قسمتهای ۷ و ۸ مشاهده کردیم شباهت داشته باشد. چنین رشته های، درست مانند هر چیزی که در محیط روزانه خود می بینیم، به صورت يك فرد باز شناختنی در ما اثر می گذارد. به این صورت است که باید به رد های اطاق ابر یا اثرهای بر صفحه حسّاس عکاسی یا به تخلیه های (عملاً) همزمان در شمارگرهای گایگر ردیف شده نظر کنیم که آن را معلول يك ذره دانستیم که از يك شمارگر پس از شمارگر دیگر عبور می کند. در چنین حالات صرف نظر کردن از این طرز تعبیرها بسیار نامناسب است. البته دلیلی بر تحریم آن نیست، ولی بدین شرط که از این امر آگاه باشیم که، بر زمینه های تجربی معتدل، همایی يك ذره يك مفهوم مطلق نیست. معنایی محدود دارد و در بعضی از

حالات کاملاً از میان می رود.

اینکه درجه اوضاع و احوالی این همایی محدود خود را جلوه گر می سازد امری کاملاً آشکار است؛ این در وقتی است که تنها چند حالت معنود در ناحیه چندبویی حالت که با آن سرو کار داریم اشغال شده باشد، یا، به عبارتی دیگر، وقتی است که حالات اشغال شده در آن ناحیه چندان پرازدحام نیست، یا وقتی است که اشغال حادثه نادری است - اصطلاحات معنود و پرازدحام و نادر اشاره به چندبویی حالت است. و گرنه، رشته به صورت کور در هم گره می خورد و وضعیت واقعی را آشکار می سازد. در آخرین قسمت، از شرایط کفّی لازم برای غلبه کردن فردیت محدود سخن خواهیم گفت. اکنون می پرسیم که اگر آن از بین برود، چه پیش خواهد آمد.

۱۲. ازدحام و سیمای موج

ممکن است این اندیشه به آدمی دست دهد که، به تدریج که فردیت ذره با ازدحام از میان می رود، سیمای ذره روی هم رفته کمتر و کمتر دارای مزبشتی می ماند، و

بایست آن را با سیمای موج عوض کنیم. مثلاً، در فیزیک الکتریکی يك اتوم یا مولکول، ازدحام به حد اعلا است و تقریباً همه حالت‌های داخل يك ناحیه معین با الکترونها اشغال شده است. برای آنچه به اصطلاح الکترونها آزاد داخل يك اتوم نامیده می‌شود نیز این امر صحت دارد. در حقیقت، در هر دو حالت سیمای ذره کاملاً فاقد صلاحیت می‌شود. از طرف دیگر، در يك گاز متعارفی مولکول‌ها در ناحیه وسیعی از حالت‌ها که بران گسترده شده‌اند، بسیار نادرند. بیش از يك حالت در ۱۰,۰۰۰ حالت یا در همین حدود اشغال نشده است. و، واقعاً، نظریه گازها که مبتنی بر سیمای ذره‌ای بود، شایستگی آن را داشت که پیش از اکتشاف ماهیت موجی ماده متعارفی به حد اعلا کمال برسد. (در این اشاره اخیر از مولکول‌ها به عنوان آخرین ذره‌ها سخن گفتیم؛ و تا آنجا که حرکت انتقالی آنها مورد نظر است، این طرز تصور درست است.)

این وسوسه برای شخص پیدا می‌شود که برای دو رقیب، یعنی سیمای ذره‌ای و سیمای موجی، در حالت‌های حدی «رفت و نادر بودن» و «ازدحام» صلاحیت کمال

قائل شود. به این ترتیب چنان به نظر می‌رسد که آن دو از یکدیگر جدا می‌شوند، منتها نوعی انتقال از یکی به دیگری برای ناحیه متوسط لازم می‌شود. این فکر کاملاً باطل نیست، ولی از درست بودن نیز بسیار دور است. باید نمونه‌های تعدادی را که در قسمت ۲ به عنوان دلیلی برای ماهیت موجی الکترون ذکر کردیم، به خاطر بیاوریم. آنها را می‌توان با دسته یاریکی از اشعه کاتودی فراهم کرد، به شرط آنکه مدت تابش زیاد باشد. بدین ترتیب در اینجا يك نمود موجی نمونه، صرف نظر از ازدحام، حاصل می‌شود. مثال دیگری این است. برای پژوهشی نظری و شایسته از تصادم دو ذره ممنوع یا غیر ممنوع لازم است که ماهیت موجی آنها در نظر گرفته شود. نتایج در مورد تصادم ذرات اشعه کیهانی یا هسته‌های ائومی در جو، که هر دو نای آنها به نهایت درجه، به هر معنای کلمه نادر، نادرند، کاملاً قابل انطباق بوده است. ولی شاید این چندان معتبر نباشد؛ تنها به این معنی است که حتی يك ذره جدا افتاده را، که توهم يك فردیت ناپایدار را برای ما فراهم می‌آورد، نباید به يك ذره رسمی قدیمی

شبه کنیم. آن ذره در معرض رابطه عدم قطعیت باقی می ماند که تنها تصویر قابل تحمل آن گروه موج را می سازد است.

۱۳. شرط لازم برای سیمای ذره ای

آنچه پس از این می آید، شرط کمی است برای پیدا شدن رشته هایی که به صورت تقلیدی از افراد جلوه گر می شوند و سیمای ذره را به خاطر می آورند: حاصل ضرب مقدار حرکت p در فاصله میانگین l میان ذره های مجاور، بایستی در مقایسه با ثابت h پلانک بسیار بزرگتر از آن باشد، یعنی:

$$pl \gg h$$

(مقدار حرکت p - و نه سرعت - چیزی است که حقا می بایستی در قسمتهای ۴ و ۵، هنگام اشاره به رابطه عدم قطعیت، به آن اشاره کرده باشیم؛ p تنها حاصل ضرب جرم و سرعت است، مگر اینکه سرعت در حدود سرعت نور بوده باشد.)

در فضای متعارفی، ۱ بزرگتر نباشد چگالی کمتر است. ولی، آنچه اهمیت دارد، چگالی در چند نوی حالتها یا، به اصطلاح فنی، در فضای فازی است. و به همین دلیل است که مقدار حرکت وارد می شود. بد نیست به خاطر بیاوریم که آن رشته های آشکار - ذره های مرسوم در اطاق ایر یا در صفحات عکاسی، و تضایع های همزمان در شمارگرهای ردیف شده - همه یا ذره های تولید می - شوند که، در مقایسه، مقدار حرکت های بسیار بزرگ دارند. رابطه فوق از لحاظ نظریه گاهها بسیار آشنای نماید،

و شرطی را بیان می کند که باید با تقریب خوب تحقق پیدا کند، تا نظریه ذره ای قدیمی گاهها بتواند با تقریب خوب قابل تطبیق باشد. هنگامی که دهها بسیار است و در عین حال چگالی بسیار بالا است، این نظریه باید بنا بر نظریه کوآتوم چندان تعدیل شود که دیگر حاصل ضرب pl در مقایسه با h بسیار بزرگ نباشد. این تعدیل به نام نظریه گاههای منحنی نامیده می شود، که مشهورترین مورد استعمال آن توسط آ. زومرفلد در باره الکترونیای داخل يك فلز صورت گرفته است؛ بیش از این به عنوان

مثالی از ازدحام مفرط از آن یاد کردیم.

ارتباط میان رابطه ما و رابطه عدم قطعیت از نظر ذیل است. رابطه اخیر اجازه آن را می دهد که محل یک ذره را نسبت به ذره معای مجاور آن با خطایی بسیار کوچکتر از فاصله میانکین 1 تعیین کنیم. ولی این امر علاوه بر یک عدم قطعیت در p است. بنا بر همین امر، به تدریج که ذره حرکت می کند، عدم قطعیت در تعیین محل آن افزایش می یابد. اگر کسی مدعی آن باشد که پس از آنکه ذره فاصله 1 را پیمود باز هم عدم قطعیت زیر 1 می ماند، درست به رابطه اول رسیده است.

ولی باز دیگر بایست از سوء فهمی که جمله سابق ممکن است سبب شود، خواننده را بر حذر دارم، و آن این است که تصور کنیم ازدحام تنها ما را از ثبت کردن هویت یک ذره مانع می شود و یک ذره را به جای ذره دیگر می گیریم. نکته در این است که ذره ها افراد نیستند که بتوانیم آنها را با هم اشتباه کنیم یا یکی را به جای دیگری بگیریم. چنین جمله هایی بی معنی است.

مراجع

- (1) Mach, Ernst, "Erkenntnis und Irrtum," I. A. Barth, Leipzig 1905.
- (2) Wiesel, Hermann, "Human Knowledge, Its Scope and Limits," Allen and Unwin, London, 1930.
- (3) Heide, Hermann, "Die Fragmente der Vorsokratiker," Westermannsche Buchhandlung, Berlin (از این کتاب به نقل از ۲۵۴ اثر بود به دست کار خود ۱۹۵۱ مورد نقل بوده است).

فهرست کلمات

(الف)

atomistic	۸۵	اتومیکرانه
atomism	۲۳۴	اتومیکری
positivism	۲۴۸	اثباتیکری
consensus omnium	۱۱۵	اجماع عام
probability	۴۸	احتمال
empirical	۱۱	اختباری
Achylles	۱۲۰	اخیلئوس
Eddington	۵	ادینگتون
inter-connection	۴۱	ارتباط طرفینی
Aristotle	۷۱	ارسطو
Ernst Mach	۱۰۹	ارست ماخ

۵ این فهرست بیشتر برای نشان دادن صورت اصلی نام کسانی است که از ایشان در این کتاب ذکری به میان آمده، در ضمن تنظیم آن چنان به نظر رسید که اگر معادل انگلیسی بعضی کلمات فارسی (اما نه عربی) آن اضافه شود، بیفایده نخواهد بود. کلمات دیگری نیز به جهانی دیگر در این فهرست آمده است، عدد پس از هر کلمه شماره صفحهای است که کلمه در آن آمده است.

erwin Schrödinger	آر وین شرودینگر
Ariosto	آریوستو ۳۵
trial and error	آزمایش و خطا ۶۸
A. Sommerfeld	ا. سومرفلد ۲۷۱
standard	استاندارد ۱۲۹
exclusion principle	اصل طرد ۲۵۹
postulate	اصل موضوع ۱۲
information	اطلاعات ۲۵۳
authority	اعتبار ۱۲۶
fall of temperature	افت دما ۷۶
Exner	اکسرنر ۹
consciously	آگاهانه ۱۰۴
Albert Einstein	آلبرت اینشتین ۵۹
Alciphron	آلفیفرن ۴
mental pattern	الگوی فکری ۱۰۵
statistics	آمار (علم) ۷
Emile zola	امیل زولا ۹۶
entropy	آنترپی ۵۴
aberration of light	انحراف نور ۲۰۳
indices	اندیس ۱۵۲
energetic	انرژیایی ۱۳۴
anthropomorphism	انسان‌شکل‌گری ۲۰
irreversible	انتکاس‌ناپذیر ۷۵
Ångström	آنگستروم ۱۸۹
motive	انگیزه ۱۱۳
Euphranor	اوفرانور ۴
Unter den Linden	اونتروندن لیندن ۱۵
stationary	ایستادن ۱۲۳
static	ایستادن ۷۵

standpoint	• • • • •	ایستگاه ۹۵
ubiquity	• • • • •	آمن (کجایی) ۲۲۲
Einstein	• • • • •	اینشتین ۵۹

(ب)

fashion of age	• • • • •	باب روز ۱۱۹
Berkeley	• • • • •	بارکلی (= بارکلی) ۳
identifiable	• • • • •	پازشناختنی ۲۶۳
dynamic	• • • • •	پالان ۷۵
dynamism	• • • • •	پالندگی ۱۲۱
authorities	• • • • •	پتهای اجتماع ۲۶
Bertrand Russel	• • • • •	برتراند راسل ۲۵۱
electromagnetic	• • • • •	برق‌طیسی ۱۸۷
Berkeley	• • • • •	برکلی (= بارکلی) ۳
frequency	• • • • •	بسامد ۱۲۲
optical	• • • • •	بصری (نوری) ۱۰۹
in principle	• • • • •	بنا بر اصل ۹۰
Bohr	• • • • •	بور ۱۸
Bose	• • • • •	بوز ۲۵۸
Boltzmann	• • • • •	بولتزمان ۷
unbounded	• • • • •	بی‌پایان ۱۳۷
infinity	• • • • •	بینهایت ۲۵۱
infinite	• • • • •	بینهایت ۱۲۰

(پ)

P. A. M. Dirac	• • • • •	پ. ا. م. دیراک ۱۹۵
Pauli	• • • • •	پاولی ۲۵۸
diffuse	• • • • •	پخشیده ۱۸۵
crowded	• • • • •	پرازدحام ۲۶۶
diffraction	• • • • •	پراشی ۱۰۷

diffracted	پراکنده ۱۸۵
dispersion	پراکنده ۲۲۶
scattered	پراکنده ۱۸۵
Pergamon	پراگامون ۳۶
perturbation	پربشایی ۲۲۷
investigation	پژوهش ۲۹
research	پژوهش ۲۸
research worker	پژوهشگر ۲۸
Planck	پلانک ۸
Poincaré	پوانکاره ۱۵
area	پهنه ۶۵
event, occurrence	پیشامد
prejudice	پیشداوری ۶۰
continuity	پیوستگی ۲۳۳
continuum	پیوسته ۱۹۶

(ت)

Tasso	تاسو ۳۵
tensor	تانسور ۱۵۲
crucial experiment	تجربه صلیبی ۳۹
abstraction	تجرد ۲۱۵
study	تحقیق ۳۲
investigations	تحقیقات ۱۱۱
analysis	تحلیل ۱۲۲
transformation	تحول ۳۸
interference	تداخل ۲۱۶
level	تراز ۱۳۲
thermodynamics	ترمودینامیک ۵۴
concept	تصور ۱
image	تصویر ۲۲

picture	۶۰	تصویر
accomodation	۱۲۳	تطابق
applied	۳۳	تطبیقی
determination	۹۵	تعیین
interpretation	۱۶۸	تفسیر
precession	۱۸۵	تقدیم اعتدالین
evolution	۱۲۲	تکامل
achievement	۳۷	تکامل
development	۳۸	تکامل
disintegration	۵۱	تلاشی
arrangement	۲۶۵	تنظیم
union	۲۳۹	توأمی
manifold	۵۵	تویرتو
distribution	۷۵	توزیع

(ث)

Planck's constant	۶۶	ثابت پلانک
duality	۱۲۴	ثنویت

(ج)

rigid	۱۴۴	جامد و متصلب
wave-front	۲۰۶	جہۃ موج
essence	۵۶	جوہر
quintessence	۲۱۰	جوہر
James Murphy	۱	جیمز مرفی
Sir James Jeans	۵	جینز ، سر جیمز

(ح)

frame of mind	۱۲۵	چارچوب فکری
C. T. R. Wilson	۲۱۲	ج . ت . ر . ویلسون

turning	چرخش ۲۰۷
scope	چشم انداز ۱۴۰
density	چگالی ۱۵۶
many-dimensional	چندبُعدی ۲۵۱
manifold	چندتو ۲۵۱

(ح)

initial state	حالت ابتدایی ۱۲
vector	حامل ۱۵۲
authority	حجت ۴۲
authority	حجیت ۴۲
stereometric	حجمنما ۲۱۲
Brownian movement	حرکت براونی ۷۵
justification	حقانیت ۸۳
truths	حقایق ۹۶
reality	حقیقت و واقعیت ۹۱

(خ)

error	خطا ۹۲
mistake	خطا ۷۳
bending	خمیدگی ۲۰۷
consciousness	خودآگاهی ۱۶۲

(د)

data	داده‌ها ۱۰۱
Darwin	داروین ۱۲۳
Dalton	دالتون ۲۵۶
student	دانش‌پژوه ۲۹
Debye	دبای ۱۰۶
Dedekind	دِرکیند ۱۲۰

inherent	درونی و ذاتی	۱۷۷
intrinsic	درونی و ذاتی	۴۴
interpolation	درونیایی	۸۸
apprehension	دریافت	۹۶
system	دستگاه	۶۱
code	دفتر رمز	۲۴۳
Descartes	دکارت	۷۱
Democritus	دموکریطوس	۲۵۶
afterthought	دبالت فکری	۷۳
De Broglie	دوبروی	۱۰
two-dimensional	دو بعدی	۹۱
vicious circle	دور (و تسلسل)	۱۷۴
dual	دوگانه	۱۷۷
duplication	دوگونی	۱۷۵
viewpoint	دیدگاه	۱۴۱
perspective	دیدگاه	۱۹
Dirac	دیراک	۱۸
paleobiology	دیرینزیستشناسی	۱۸۲
David Hume	دیوید هیوم	۴۴

(ذ)

essentially	ذاتی	۱۶۹
inherent	ذاتی	۵۶
intrinsic	ذاتی	۵۶
particle	ذره	۲
microscopic	ذره بینی	۱۹

(ر)

relation	رابطه	۲۴۱
r. of indeterminacy	رابطه نامعینی	۲۴۱

radio activity	• • • • •	۲۱۲	رادیواکتیویته
technique	• • • • •	۶۹	تأمورسم
order of magnitude	• • • • •	۲۲۶	رتبه بزرگی
track	• • • • •	۲۳۳	رد (اثر)
canonical	• • • • •	۱۹۸	دسمی
rarefaction	• • • • •	۲۶۸	دقت
hydrodynamics	• • • • •	۱۵۰	روانابشناسی
electrodynamics	• • • • •	۱۷۶	روانابری
psychological	• • • • •	۱۱۱	روانشناختی
spirit	• • • • •	۴۲	روحیه

(ز)

Graf zeppelin	• • • • •	۳۵	زپلین ، گراف
Emile Zola	• • • • •	۹۶	زولا ، امیل
Sommerfeld	• • • • •	۲۷۱	زومرفلد
biological	• • • • •	۱۰۴	زیستشناختی
thermal gradient	• • • • •	۷۶	زینة حرارتی

(س)

organic	• • • • •	۱۱۷	سازماندار
mechanism	• • • • •	۲۱۱	سازوکار
Sir Arthur Eddington	• • • • •	۵	سر آرتور ادینگتون
Sir James Jeans	• • • • •	۵	سر جیمز جینز
on tick	• • • • •	۱۳۳	سروقت
Socrates	• • • • •	۲۵۲	سقراط
traditional	• • • • •	۴۲	سنتی
Snell	• • • • •	۲۰۲	سنل
misunderstanding	• • • • •	۵۴	سوء فهم
sophists	• • • • •	۹۹	سوفسطائیان
three-dimensional	• • • • •	۹۱	سه پیمدی

feature	۵۵ سیما
aspect	۲ سیما

(ش)

keynote	۱۱۹ شاه کلید
space-lattice	۱۸۴ شبکه فضایی
layman	۱۱۱ شخص غیروارد
subjective	۹۶ شخصی
Schrödinger	۱ شرودینگر
skepticism	۴۶ شکاکیگری
counter	۲۳۸ شمارگر
cognition	۸۸ شناسایی
Schopenhauer	۱۲۳ شوپنهاور

(ص)

accuracy	۶۸ صحت
exactitude	۵۲ صحت
centigrade	۱۶۶ صدبشی
emission	۱۴۳ صدور
rigid	۵۷ صلب وقاطع
crucial	۳۹ صلیبی
formulation	۹ سورقیندی

(ط)

scheme	۲۳۳ طرح
pattern	۲۳۹ طرح
exclusion	۲۵۹ طرد

(ع)

element	۱۰۳ عامل
---------	----------

wave-number	عدد موج ۲۲۲
uncertainty	عدم قطعیت ۱۷
uncertainty	عدم قطعیت ۱۲
dogma	عقیده جزمی ۱۸۷
cause and effect	علت و معلول ۷
humanist sciences	علوم انسانی ۹۷
exact sciences	علوم صحیح ۳۹
in principle	علی الاصول ۶۸
causality	علیت ۲
action	عمل ۷
elementary	عنصری ۱۷۵
objective	عینی ۴۶
objectivity	عینیت ۹۷

(غ)

acausal	غیرعلیتی ۱۳
---------	-------------

(ف)

Faraday	فاراده ۲۳۸
process	فرایند ۱۲
Franz Exner	فرانتز اکسندر ۹
individuality	فردیت ۲۴۹
wisdom	فرزانگی ۳۲
Fermat	فرما ۲۰۳
Fermi	فرمی ۹
Fresnel	فرل ۱۰۸
phase space	فضای فاز ۱۹۷
positivism	فلسفه اثباتی ۲۴۸
technical	فنی ۳۳
astrophysics	فیزیک اختری ۱۲۳

(ق)

orthogonal	قائم بر ۲۰۶
frame	قالب ۱۸۰
a priori	قبلی ۸۲
magnitude	قدر (نجوم) ۱۵۷
fitting	«قماش» ۲۳۶

(ک)

efficiency	کارامدی ۱۸۴
application	کاربرد ۲۰
whereness	کجایی (— آین) ۲۴۲
elasticity	کشایی ۰۶ ۱
Cloyn	کلون ۳
quantum	کوآنتوم ۱۱
quantization	کوآنتومش ۱۹۸
to quantize	کوآنتومیدن ۱۹۸
K. W. F. Kohlrausch	ک. و. ف. کولریش ۱۰
Kirchhoff	کیرشوف (کیرشهوف) ۱۱۰
Cambridge	کیمبریج ۲

(گ)

Galileo	گالیلئو ۷۱
Gauss	گوس ۱۳۷
Geiger	گایگر ۲۳۸
Graf zeppelin	گراف زیپلین ۳۵
gravitation	گرایش ۷۸
Grimaldi	گریمالدی ۱۰۷
expanding universe	گسترش (جهان در حال) ۱۲۴
Goethe	گوته ۵۰

گوئی ۱۲۱
gothic (ل)

لاگرائز ۸
Lagrange
لئو X ۱۲۸
Leo X
لاوئه ۱۸۴
Laue
لختی ۱۶۸
inertia
ارزه شناس ۱۰۶
seismologist
لودویک بولتزمان ۷
Ludwig Boltzman

(م)

ماخ ۱۱۹
Mach
ماربل آرچ ۹۲
Marbel Arch
ماکس پلانک ۸
Max Planck
ماورای ماده ۹۰
ultra-matter
ماهیت ۱۳
nature
مایکلسون ۱۴۵
Michelson
متغیر عمل ۱۹۸
actoin variable
مثلث بندی ۱۳۷
triangulation
مجاورات (کتاب) ۴
Dialogues
محدود ۱۲
determined
محدود ۱۳۷
finite
مرفی ۱
Murphy
مفهوم ۱۲
concept
مرتبه بزرگی ۲۲۶
order of magnitude
مزدوج ۱۹۲
conjugate
مزون ۲۳۴
meson
معرفت ۲۲
knowledge
معرفت شناختی ۴
epistemological
معقول ۵۴
rational
معین ۷۳
defined

determined	معین شد ۱۲
defined	معین و محدود ۱۳
deterministic	معینگرانه ۷۹
determinism	معینگری ۵۷
momentum	مقدار حرکت ۱۳۱
category	مقوله ۳۱
mechanomorphism	مکانیکشکلیگری ۲۰
classical mechanics	مکانیک رسمی ۱۱
Maxwell	مکسول ۲۳۶
system	منظومه ۱۲۴
wave-group	موجگروه ۱۹۵۰
Müller	مولر ۲۳۸
average	میانگین ۷۴

(ن)

incoherence	ناسازگاری ۱۷۷
invariant	ناگردا ۱۴۷
invariance	ناگردایی ۱۴۵
limitless	نامحدود ۱۲۰
indeterminacy	نامعینی ۸۳
indeterminateness	نامعینی ۷۸
indeterministic	نامعینگرانه ۶۴
indeterminism	نامعینگری ۲
abnormal	ناعینار ۴۰
Nernst	نرست ۱۰۵
relativity	نسبیت ۱۸
system	نظام ۱۴۸
standpoint	نظرگاه ۹۵
theoretically	نظری (به صورت) ۷۴
theory	نظریه ۱

corpuscular theory	نظریه ذره‌ای ۱۰۷
theorist	نظریه ساز ۱۱۰
wave theory	نظریه موجی ۱۰۸
intellectual outlook	نگرش عقلی ۵۹
symbol	نماد ۲۲۶
symbolic	نمادی ۲۲۶
phenomen	نمود ۰۱
diagram	نمودار ۱۸۴
phenomenological	نمود شناختی ۹۳
prototype	نمونه ۱۷۰
Noble	نوبل ۰۲
optics	نورشناخت ۲۱۷
optical	نورشناختی (= نوری) ۲۱۷
optical	نوری (= نورشناختی) ۲۱۷
Niels Bohr	نیلز بور ۱۵
Newton	نیوتون ۸

(۹)

chronicler	واقعه نگار ۹۸
fact	واقعیت ۱۴
reality	واقعیت ۱۸۱
reaction	واکنش ۱۳
Walther	والتر ۳۵
Whitehead	وایتهد ۰۶
entity	وجود ۴۷
position	وضع ۶۴
position	وضعیت ۲۱
Wilson	ویلسون ۸۴

(۵)

Hazenoeuhl	۹	هازنورل
Henrie Poincaré	۱۵	هانری پوانکاره
Hyde Park	۹۲	هایدپارک
Heizenberg	۱۰	هایزنبرگ
Hubble	۱۲۴	هبل
Hegel	۱۲۳	هگل
sameness	۲۳۵	همایی
identity	۲۶۴	هویت
Huygens	۱۰۷	هویگنس
Hume	۴۴	هیوم

(۵)

Young	۱۰۸	یوانگ
one-directional	۴۸	یکجهته ، یکجهتی
ionization	۲۲۹	یونش

غلطنامه

عدد اول نماینده صفحه و عدد دوم نماینده سطر است

درست	درست
۱۷-۱۲۱ کرد .	۸-۳ بارکلی
۱۰-۱۳۲ نظریه	۱۰-۵ بارکلی
۱۳-۱۴۳ منبع	۳-۶ بارکلی
۱۱-۱۵۲ تنظیم	۱۲-۶ بارکلی
۲-۱۶۸ قوانین	۱۸-۸ Modern
۱۱-۱۷۲ ابدأ	۱۸-۱۳ پو افکاره
۴-۱۸۷ متناوب	۹-۲۲ و ساختن
۲۴-۱۹۷ عمل ، J	۳-۳۸ اشخاص
۲۵-۱۹۷ W بنویسیم	۲-۳۹ سوه
۴-۲۰۱ در این باره	۱۱-۴۷ قانون
۱۴-۲۱۳ جزئیات	۳-۶۲ تجربه
۵-۲۱۶ نتایجی	۷-۶۴ جلب
۷-۲۱۶ جدید از روبره	۷-۷۴ مولکولهای
روشن شدن با آن	۱۷-۷۶ مربوط
۵-۲۱۷ تداخل	۱۸-۸۷ سوالات
۳-۲۲۰ می تواند	۵-۹۶ est la
۱۰-۲۳۰ سنتی	۶-۹۶ سؤال
۸-۲۳۵ بوز	۸-۱۰۹ بر
۱۵-۲۵۳ آنگاه	۱-۱۱۳ غیره ،
۱۴-۲۶۲ الکترون	۲-۱۱۷ اصلاً
۱-۲۷۱ کمتر	۴-۱۱۷ ابداع

قرن مادر تحت تسلط ضرورتی است از خرده-
گیری و انتقاد، از عادات و معتقدات سنتی. روح
تازه‌ای در حال طلوع است که نمی‌خواهد چیزی
را به استناد قدرت و حجیتی بپذیرد، و هیچ چیز
را به اندازه اندیشه معقول و مستقل ما در باره
هر چیز روا نمی‌دارد، و از هیچ حمله که متکی بر
چنین اندیشه‌ای باشد، و لواینکه متوجه مقدس‌ترین
امور در نظر ما بوده باشد، جلوگیری نمی‌کند.
به عقیده من، این روحیه علت مشترکی است که در
زمینه هر بحران علمی زمان حاضر وجود دارد.
نتایج آن جز سودمند نیست: هیچ ساختمان علمی
کاملاً به حالت ویرانی در نمی‌آید: آنچه شایسته
محفوظ ماندن است خود را حفظ می‌کند و به هیچ
حمایتی نیازمند نیست. (صفحه ۴۲ کتاب حاضر).